



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISA KEKUATAN RANGKA *ROAD BIKE*
DENGAN VARIASI ARAH SERAT, JUMLAH LAPISAN,
DAN JENIS MATERIAL *CARBON FIBER***

GAMEI SUYONO PUTRA
NRP. 2112 106 009

Dosen Pembimbing
Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISA KEKUATAN RANGKA *ROAD BIKE* DENGAN VARIASI ARAH SERAT, JUMLAH LAPISAN, DAN JENIS MATERIAL *CARBON FIBER*

GAMEI SUYONO PUTRA
NRP. 2112 106 009

Dosen Pembimbing
Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 141585

STRENGTH ANALYSIS OF ROAD BIKE FRAME WITH VARIATION OF FIBER DIRECTION, STACKING SEQUENCE AND TYPE OF MATERIAL CARBON FIBER

GAMEI SUYONO PUTRA
NRP. 2112 106 009

Supervisor
Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016



ANALISA KEKUATAN RANGKA ROAD BIKE DENGAN VARIASI ARAH SERAT, JUMLAH LAPISAN DAN JENIS MATERIAL CARBON FIBER

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Mekanika Benda Padat

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Gamei Suyono Putra

Nrp. 2112 106 009

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 198202102006041002

(Pembimbing I)

2. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono, DEA
NIP. 196508101991021001

(Penguji I)

3. Dr.Eng Unggul Wasiwitono, ST
NIP. 197805102001121001



(Penguji II)

4. Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng
NIP. 197505111999031001

(Penguji III)

SURABAYA

Januari, 2016

ANALISA KEKUATAN RANGKA ROAD BIKE DENGAN VARIASI ARAH SERAT, JUMLAH LAPISAN DAN JENIS MATERIAL CARBON FIBER

Nama Mahasiswa : Gamei Suyono Putra
NRP : 2112 106 009
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Road bike adalah jenis sepeda yang mengutamakan kecepatan ketika digunakan. Rangka merupakan komponen utama sebagai penopang beban, maka harus aman, kuat, nyaman dan ringan, sehingga material carbon fiber cocok digunakan untuk rangka sepeda. Tujuan penelitian penulis adalah menentukan kombinasi arah serat terbaik pada rangka sepeda carbon fiber serta mengetahui letak daerah kritis dan lapisan kritis. Desain kombinasi arah serat terbaik adalah desain yang mempunyai faktor keamanan terbesar setelah dilakukan simulasi pengujian.

Metode pengujian yang digunakan untuk pengujian desain rangka sepeda adalah pembebanan statis yaitu torsional loading, frontal loading, dan vertical loading. Dari data hasil pengujian yang dilakukan, data dianalisa menggunakan teori tegangan maksimum, teori tsai hill, dan teori tsai wu. Variasi yang dilakukan adalah arah serat karbon 0, 45, 90, dan -45, jumlah susunan lapisan 8 dan 6, dan jenis carbon fiber AS4 dan T800.

Hasil yang didapat dari penelitian adalah desain arah serat karbon terbaik pada material carbon fiber AS4 dengan jumlah lapisan 8 lapis yaitu [0/90/90/0]s. Sedangkan hasil desain terbaik pada rangka sepeda material carbon fiber T800 adalah kombinasi arah serat [0/45/-45]s.

Kata kunci : carbon fiber, rangka road bike, solidworks.

STRENGTH ANALYSIS OF ROAD BIKE FRAME WITH VARIATION OF FIBER DIRECTION, STACKING SEQUENCE AND TYPE OF MATERIAL CARBON FIBER

Student Name : Gamei Suyono Putra
NRP : 2112 106 009
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Lecturer : Alief Wikarta, S.T., M.Sc, Ph.D.

ABSTRACT

Road bike is the kind of bike that give priority to speed when used. Frame is the main component as a support load, then it must be safe, strong, comfortable and lightweight, so that the carbon fiber material suitable for bicycle frame. The purpose of the study authors is to determine the best combination of fiber direction on carbon fiber bike frame and locate the critical areas and critical layers. Design the best combination of fiber directions are those which have the greatest safety factor after the simulation testing.

Testing methods to test the design of the bike frame is static loading which torsional loading, frontal loading and vertical loading. From the data results of test of that is done, the data were analyzed using the theory of maximum stress, hill tsai theory, and the theory of wu tsai. Variations are made of carbon fiber direction of 0, 45, 90, and -45, the amount of the composition of layers 8 and 6, and the type of AS4 carbon fiber and T800.

The results obtained from the research is the design direction of the best carbon fiber in AS4 carbon fiber material with a number of layers of 8 layers is [0/90/90/0]s. While the best design results in material of carbon fiber bike frame T800 is a combination of fiber direction [0/45 / -45]s.

Keywords: carbon fiber, road bike frame, solidworks.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis mampu menyusun dan menyelesaikan pembuatan laporan tugas akhir dibidang desain. Penyusunan laporan tugas akhir ini bertujuan untuk menambah pengetahuan dibidang desain, khususnya pada rangka sepeda yang menggunakan material *carbon fiber*. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin ITS
2. Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
3. Kedua orang tua dan saudara-saudara penulis yang senantiasa memberi motivasi dan dukungan.
4. Semua dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin ITS
5. Rekan-rekan anggota Lab. Mekanika Benda Padat
6. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan semua pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 <i>Road Bike Frame</i>	5
2.2 Komposit.....	6
2.3 Metode Pengujian.....	10
2.4 Teori Kegagalan untuk Komposit	12

2.5 Metode Elemen Hingga.....	17
2.6 Kajian Pustaka.....	18
BAB III METODOLOGI.....	25
3.1 Prosedur Penelitian.....	25
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.3 Skema Gambar <i>Road Bike</i>	28
3.4 Diagram Alir Pengujian Material <i>Carbon Fiber</i> AS4.....	29
3.5 Diagram Alir Pengujian Material <i>Carbon Fiber</i> T800.....	31
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....	33
4.1 Data Hasil Pengujian Material AS4.....	34
4.2 Data Hasil Pengujian Material T800.....	38
4.3 Daerah Kritis dan Lapisan Kritis.....	43
4.4 Analisa dan Pembahasan	46
BAB V KESIMPULAN.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Road bike frame</i>	5
Gambar 2.2 Susunan lapisan simetris dan seimbang	7
Gambar 2.3 <i>Torsional loading test boundary condition</i>	10
Gambar 2.4 <i>Torsional loading test head tube fixture</i>	11
Gambar 2.5 <i>Frontal loading test</i>	11
Gambar 2.6 <i>Vertical loading test</i>	12
Gambar 2.7 Ilustrasi Tegangan Normal dalam 3 Dimensi.....	14
Gambar 2.8 Optimasi Geometri	19
Gambar 2.9 Susunan komposit 8 lapis.....	21
Gambar 2.10 Lokasi daerah rawan	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 3.2 Skema Rangka <i>Road Bike</i>	28
Gambar 3.3 Diagram alir rangka sepeda material AS4	29
Gambar 3.4 Diagram alir rangka sepeda material T800	31
Gambar 4.1 Skema Analisa.....	33
Gambar 4.2 Contoh Hasil Pengujian Frontal pada Material AS4.....	34
Gambar 4.3 Contoh <i>interlaminar shear stress XZ</i> Material AS4 (Frontal).....	34

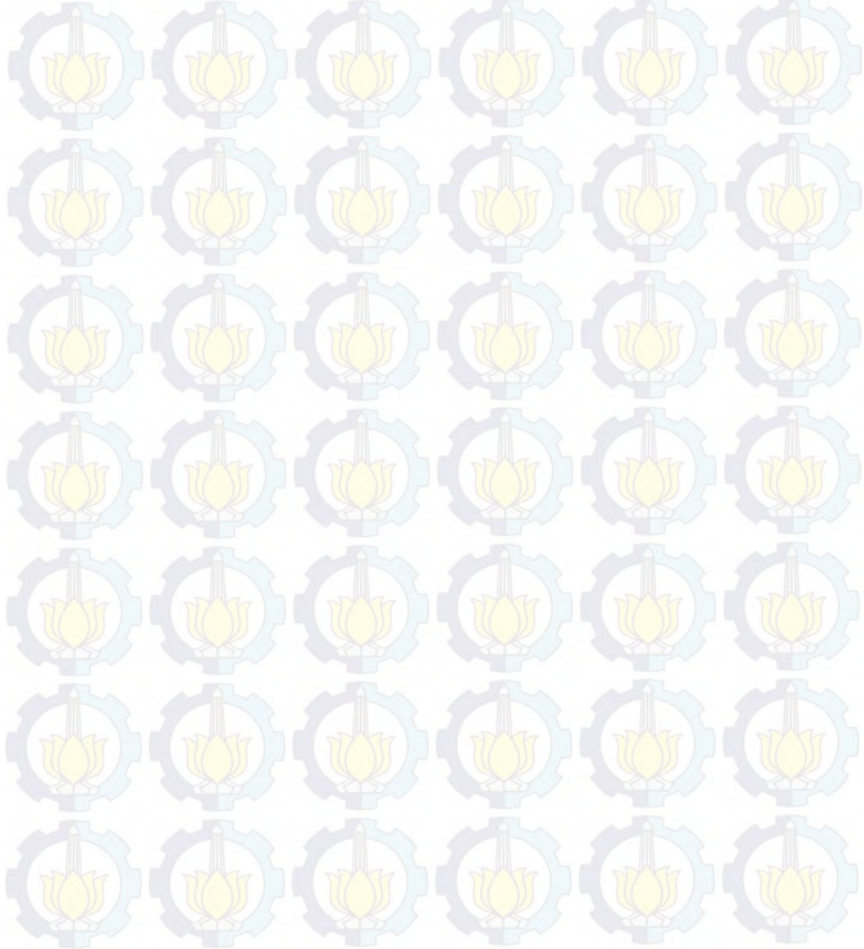
Gambar 4.4 Contoh Hasil Pengujian Torsional pada Material AS4.....	35
Gambar 4.5 Contoh <i>interlaminar shear stress</i> XZ Material AS4 (Torsional).....	36
Gambar 4.6 Contoh Hasil Pengujian Vertikal pada Material AS4.....	37
Gambar 4.7 Contoh <i>interlaminar shear stress</i> XZ Material AS4 (Vertikal).....	37
Gambar 4.8 Contoh Hasil Pengujian Frontal pada Material T800.....	39
Gambar 4.9 Contoh <i>interlaminar shear stress</i> XZ Material T800 (Frontal).....	39
Gambar 4.10 Contoh Hasil Pengujian Torsional pada Material T800.....	40
Gambar 4.11 Contoh <i>interlaminar shear stress</i> XZ Material T800 (Torsional).....	41
Gambar 4.12 Contoh Hasil Pengujian Vertikal pada Material T800.....	42
Gambar 4.13 Contoh <i>interlaminar shear stress</i> XZ Material T800 Vertikal).....	42
Gambar 4.14 Daerah kritis pada rangka sepeda.....	43
Gambar 4.15 contoh Ilustrasi letak lapisan kritis berdasarkan FOS.....	45
Gambar 4.16 contoh Ilustrasi letak lapisan kritis berdasarkan <i>interlaminar shear stress</i>	45
Gambar 4.17 FOS Pengujian Frontal AS4.....	47
Gambar 4.18 FOS Pengujian Torsional AS4.....	47

Gambar 4.19 FOS Pengujian Vertikal AS4..... 48

Gambar 4.20 FOS Pengujian Frontal T800..... 49

Gambar 4.21 FOS Pengujian Torsional T800.....50

Gambar 4.22 FOS Pengujian Vertikal T800..... 51



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Basic Properties of Fibres and Other Engineering Materials</i>	8
Tabel 2.2 Tipe <i>carbon fiber</i>	9
Tabel 2.3 Data hasil optimasi material dan perlakuan panas.....	19
Tabel 2.4 Data hasil optimasi geometri	19
Tabel 2.5 Rekomendasi optimalisasi	20
Tabel 2.6 <i>Better and bad design</i>	22
Tabel 2.7 Lokasi daerah rawan dan susunan lapisan	23
Tabel 3.1 Keterangan Skema Gambar.....	28
Tabel 3.2 Variasi arah serat pada material AS4.....	30
Tabel 3.3 <i>Properties material</i> AS4.....	30
Tabel 3.4 Variasi arah serat pada material T800.....	32
Tabel 3.5 <i>Properties material</i> T800.....	32
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Frontal pada Material AS4.....	35
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Torsional pada Material AS4....	36
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Vertikal pada Material AS4.....	38
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Frontal pada Material T800.....	40
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Torsional pada Material T800...41	
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Vertikal pada Material T800.....	43

Tabel 4.7 Daerah kritis dan lapisan kritis pada rangka material AS4 Berdasarkan FOS.....	44
---	----

Tabel 4.8 Daerah kritis dan lapisan kritis pada rangka material T800 Berdasarkan FOS.....	44
--	----

Tabel 4.9 Desain Terbaik.....	52
-------------------------------	----

Tabel 4.10 Berat Rangka.....	52
------------------------------	----

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring meningkatnya populasi manusia, kebutuhan alat transportasi juga semakin meningkat, salah satunya adalah alat transportasi sepeda. Sepeda telah ada sejak abad 19 hingga sekarang. Pada awalnya sepeda mempunyai bentuk yang sederhana dan penggunaannya terbatas. Sejak abad 19 hingga sekarang, sepeda mengalami transformasi dari segi desain, material, dan asesoris, yang disesuaikan dengan kebutuhan manusia.

Komponen utama dari sepeda adalah *frame*, roda, *handlebar*, dan pedal. *Frame* merupakan bagian utama tempat melekatnya roda, pedal, *handlebar* dan asesoris lainnya. *Frame* juga berfungsi sebagai penopang beban dari pengendara, sehingga pada saat perancangan, faktor keamanan harus sangat diperhatikan. Selain faktor keamanan, yang perlu diperhatikan adalah berat sepeda. Material *frame* sepeda pada umumnya terbuat dari material baja dan aluminium. Untuk mengurangi berat sepeda maka material *frame* diganti dengan menggunakan material carbon fiber, sehingga sepeda menjadi lebih ringan dan membuat pengendara tidak mudah lelah.

Sebelumnya, penelitian yang berhubungan dengan *frame* sepeda sudah banyak dilakukan, antara lain [1] *Material and Design Optimization for an Aluminum Bike Frame* oleh Forrest Dwyer, Adrian Shaw, dan Richard Tombarelli dari Worcester Polytechnic Institute. Penelitian tersebut dilakukan untuk optimalisasi material *frame*, perlakuan panas, dan geometri yang bertujuan meningkatkan *fatigue life*. [2] *Fiber direction and stacking sequence design for bicycle frame made of carbon/epoxy composite laminate* oleh Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wu dari Ming Chi University of Technology, Taiwan. Penelitian yang dilakukan adalah membandingkan variasi arah serat dan

susunan lapisan carbon pada frame sepeda menggunakan software ANSYS. Pengujian yang digunakan adalah *torsional loading*, *frontal loading*, dan *vertical loading*. Data dari hasil pengujian yang dilakukan dianalisa menggunakan teori tegangan maksimum. Material yang digunakan adalah carbon fiber tipe T300 yang mempunyai *tensile modulus* 230 GPa, dan jumlah lapisan penyusun 8 lapisan simetris dengan variasi kombinasi arah serat $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, dan -45° . Kesimpulan yang didapat dari penelitian adalah *better design* dan *bad design*.

Better design yang didapat setelah dilakukan pengujian menggunakan ketiga pengujian dan dianalisa menggunakan teori tegangan maksimum adalah variasi arah serat $[0/90/90/0]_s$ dan $[0/90/45/-45]_s$, sedangkan *bad design* adalah $[0/0/0/0]_s$, $[90/90/90/90]_s$, $[45/45/45/45]_s$ dan $[-45/-45/-45/-45]_s$. Berdasarkan metode dan hasil yang didapat dari penelitian, penulis akan menggunakan untuk material *carbon fiber* yang lebih ringan dan mempunyai *tensile modulus* yang lebih tinggi.

Penulis terdorong dan tertarik untuk melanjutkan penelitian yang dilakukan oleh Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wu dari Ming Chi University of Technology, Taiwan, maka penulis mengambil judul tugas akhir; “ANALISA KEKUATAN RANGKA ROAD BIKE DENGAN VARIASI ARAH SERAT, JUMLAH LAPISAN, DAN JENIS MATERIAL CARBON FIBER”.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk mengetahui desain rangka sepeda jenis *road bike*, maka rumusan masalahnya adalah:

1. Manakah desain kombinasi arah serat terbaik pada desain rangka sepeda *road bike* menggunakan material *carbon fiber* jenis AS4 dengan jumlah lapisan 8 lapis?
2. Manakah desain kombinasi arah serat terbaik pada desain rangka sepeda *road bike* menggunakan material *carbon fiber* jenis T800 dengan jumlah lapisan 6 lapis?

3. Dimana letak daerah kritis dan lapisan kritis pada desain rangka sepeda jenis *road bike* dengan material *carbon fiber*?

1.3 Batasan Masalah

1. Material rangka *road bike* menggunakan *carbon fiber*.
2. Simulasi pegujian yang dilakukan adalah, *torsional loading test*, *frontal loading test*, dan *vertical loading test*.
3. Sambungan pada *frame* sepeda dianggap baik
4. Pengujian diasumsikan pada temperatur ruang
5. Pengujian dilakukan hanya dengan cara simulasi
6. Simulasi hanya dilakukan dengan software *solidworks* 2016

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan desain kombinasi arah serat terbaik pada rangka sepeda *road bike* menggunakan material *carbon fiber* jenis AS4 dengan jumlah lapisan 8 lapis.
2. Menentukan desain kombinasi arah serat terbaik pada rangka sepeda *road bike* menggunakan material *carbon fiber* jenis T800 dengan jumlah lapisan 6 lapis.
3. Mengetahui daerah kritis dan lapisan kritis pada desain rangka sepeda jenis *road bike* dengan material *carbon fiber*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Media penelitian dan pengembangan ilmu dibidang transportasi ramah lingkungan.
2. Membantu mahasiswa dalam memahami konsep perancangan dan pengembangan sepeda berbahan *carbon fiber*

3. Data hasil pengujian dapat dijadikan referensi untuk pengembangan desain selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari 5 bab yang masing masing bab berisi sebagai berikut;

1. Pendahuluan; menjelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat tugas akhir dan sistematika penulisan laporan.
2. Dasar Teori dan Kajian Pustaka; berisi tentang dasar-dasar ilmu yang mendukung pengerjaan tugas akhir yang berasal dari buku atau jurnal.
3. Metodologi; berisi penjelasan langkah-langkah pemodelan rangka sepeda dan langkah-langkah saat melakukan simulasi.
4. Hasil dan Analisa; berisi penjelasan data-data yang didapat dari simulasi, dan kemudian dilakukan analisa lebih lanjut.
5. Kesimpulan.

BAB II DASAR TEORI

2.1 *Road Bike Frame*

Road bike adalah jenis sepeda yang didesain dengan mengutamakan kecepatan dan digunakan di jalan yang beraspal. Roda yang digunakan tipis dan mempunyai tekanan tinggi yaitu lebih dari 100 *psi*, tujuannya adalah untuk mengurangi *rolling resistance* roda.

Bagian utama dari sepeda adalah *frame*, yang berfungsi menopang beban dari pengendara dan menghubungkan semua bagian-bagian sepeda yang lain. *Frame* mempunyai beberapa bagian seperti yang terlihat pada gambar 2.1 yaitu *top tube*, *head tube*, *down tube*, *chain tube*, *seat tube*, dan *seat stay*. *Top tube* dan *down tube* sebagai penghubung *head tube* dan *seat tube*, *head tube* berfungsi sebagai tempat pemasangan *fork* dan *handle*, *seat stay* menyalurkan beban dari pengendara ke roda belakang, *seat tube* sebagai penopang beban pengendara arah vertikal, dan *chain stay* berfungsi melawan gaya rantai ketika dikayuh.



Gambar 2.1 *Road bike frame* [5]

Frame sebagai penyalur gaya atau beban harus rigid dan tangguh. Selain *rigid* dan tangguh juga harus ringan, supaya pengendara tidak mudah lelah ketika mengendarai. Material yang digunakan untuk membuat *frame* bermacam-macam antara lain aluminium, *steel*, titanium, dan *carbon fiber*.

2.2 Komposit

Gabungan antara serat dan matriks disebut material komposit. Material komposit menggabungkan keunggulan kekuatan dan kekakuan serat dengan massa jenis matriks yang rendah. Hasilnya adalah suatu bahan yang ringan tetapi kuat dan kaku. Material komposit mempunyai harga “*specific modulus*” dan “*specific strength*” yang besar. [3]

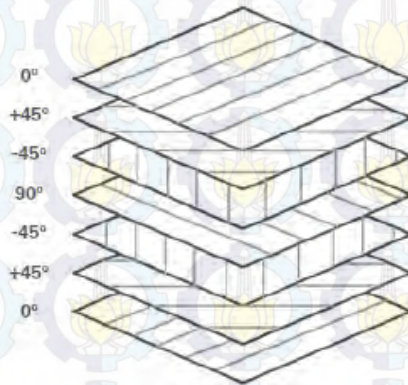
Material komposit mempunyai sifat-sifat yang berbeda dengan sebagian besar material konvensional. Sebagian besar material konvensional bersifat homogen dan isotropik. Material homogen berarti sifat-sifatnya sama di semua tempat dan sifat-sifat material bukan merupakan fungsi dari tempat atau posisi. Material isotropik berarti sifat-sifatnya sama dalam segala arah, berarti sifat-sifat material bukan merupakan fungsi arah. Sebaliknya bahan komposit bersifat tidak homogen dan orthotropik, berarti material tidak homogen sifat-sifatnya tidak sama di semua tempat, berarti merupakan fungsi dari posisi.

Salah satu keuntungan material komposit adalah kemungkinan diarahkan dalam arah tertentu (*tailoring*). Artinya, dapat diarahkan sehingga hanya kuat dan kaku dalam arah tertentu dan lemah dalam arah-arah yang tidak dikehendaki. Ada berbagai macam jenis komposit, salah satunya adalah *Carbon fiber reinforced polymer* (CFRP).

Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) terdiri dari dua penyusun yaitu matriks dan penguat. Sebagai penguat pada CFRP adalah carbon fiber, dan sebagai matriks adalah resin polimer, salah satunya adalah epoxy yang berguna sebagai pengikat carbon fiber. Karena CFRP tersusun dari dua elemen yang berbeda maka sifat CFRP tergantung dari dua elemen tersebut. Sifat CFRP

tergantung pada tata letak carbon fiber dan perbandingan carbon fiber relatif terhadap polimer.

Keuntungan sifat-sifat carbon fiber adalah mempunyai kekakuan yang tinggi, kekuatan tarik tinggi, ringan, ketahanan kimia tinggi, toleransi temperatur tinggi dan kecepatan rambat panas yang rendah. Carbon fiber mempunyai berbagai macam tipe yang dikategorikan menjadi empat kelompok berdasarkan *tensile modulus* yaitu *standard modulus* (265 Gpa), *intermediate modulus* (265-320 Gpa), *high modulus* (320-440 Gpa), dan *ultra high modulus* (sekitar 440 Gpa).



Gambar 2.2 Susunan lapisan simetris dan seimbang [4]

Saat membuat desain menggunakan lembaran *unidirectional carbon fiber* dalam menyusun material komposit adalah arah setiap susunan lembaran *carbon fiber*. Arah susunan lembaran *carbon fiber* perlu dibuat simetris dan seimbang. Simetris yang dimaksud adalah susunan pertama dan terakhir arah lembarannya sama, susunan lembaran kedua dan kedua dari terakhir sama, dan untuk lembar selanjutnya juga sama seperti pada gambar 2.2. Seimbang yang dimaksud adalah jumlah susunan lembaran dari sudut $+45^\circ$ dan -45° sama, tujuannya adalah untuk mengurangi *shear coupling*.

Tabel 2.1 *Basic Properties of Fibres and Other Engineering Materials* [4]

Material Type (MPa)	Tensile Str. (GPa)	Tensile Modulus (g/cc)	Typical Density Modulus	Specific
Carbon HS	3500	160 - 270	1.8	90 - 150
Carbon IM	5300	270 - 325	1.8	150 - 180
Carbon HM	3500	325 - 440	1.8	180 - 240
Carbon UHM	2000	440+	2.0	200+
Aramid LM	3600	60	1.45	40
Aramid HM	3100	120	1.45	80
Aramid UHM	3400	180	1.47	120
Glass - E glass	2400	69	2.5	27
Glass - S2 glass	3450	86	2.5	34
Glass - quartz	3700	69	2.2	31
Aluminium Alloy (7020)	400	1069	2.7	26
Titanium	950	110	4.5	24
Mild Steel (55 Grade)	450	205	7.8	26
Stainless Steel (A5-80)	800	196	7.8	25
HS Steel (17/4 H900)	1241	197	7.8	25

Tabel 2.2 Tipe *carbon fiber* [4]

Grade	Tensile Modulus (GPa)	Tensile Strength (GPa)	Country of Manufacture
Standard Modulus (<265GPa) (also known as 'High Strength')			
T300	230	3.53	France/Japan
T700	235	5.3	Japan
HTA	238	3.95	Germany
UTS	240	4.8	Japan
34-700	234	4.5	Japan/USA
AS4	241	4.0	USA
T650-35	241	4.55	USA
Panex 33	228	3.6	USA/Hungary
F3C	228	3.8	USA
TR50S	235	4.83	Japan
TR30S	234	4.41	Japan
Intermediate Modulus (265-320GPa)			
T800	294	5.94	France/Japan
M30S	294	5.49	France
IMS	295	4.12/5.5	Japan
MR40/MR60	289	4.4/5.1	Japan
IMS/IM7	303	5.1/5.3	USA
IM9	310	5.3	USA
T650-42	290	4.82	USA
T40	290	5.65	USA
High Modulus (320-440GPa)			
M40	392	2.74	Japan
M40J	377	4.41	France/Japan
HMA	358	3.0	Japan
UMS2526	395	4.56	Japan
MS40	340	4.8	Japan
HR40	381	4.8	Japan
Ultra High Modulus (>440GPa)			
M46J	436	4.21	Japan
UMS3536	435	4.5	Japan
HS40	441	4.4	Japan
UHMS	441	3.45	USA

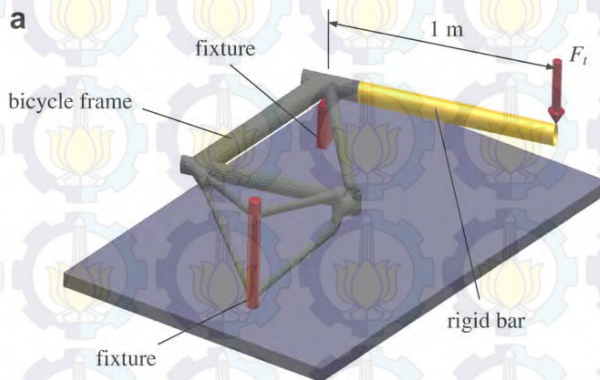
Table 2 – PAN based fibre properties (information from manufacturer's datasheets)

2.3 Metode Pengujian [2]

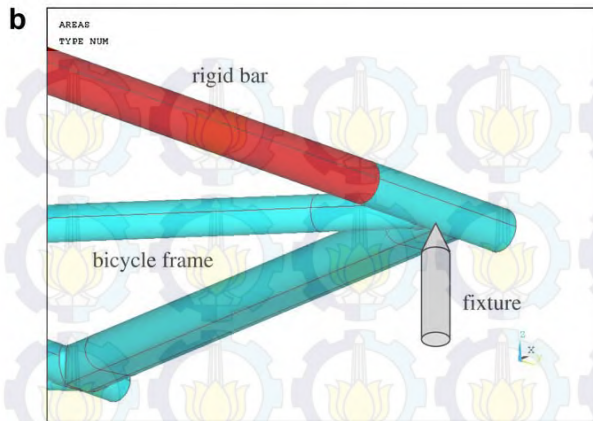
Batas dan kondisi pembebanan untuk analisa metode elemen hingga didasarkan pada referensi jurnal. Ada tiga pengujian yang dilakukan yaitu *torsional loading test*, *frontal loading test*, dan *vertical loading test*.

2.3.1 Torsional loading test

Torsional loading test dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wub seperti pada gambar 2.3. Fork depan sepeda diganti dengan batang kaku dan rangka ditopang oleh dua *fixture*. Penopang pada *head tube* adalah penopang satu titik. Gaya statik yang diberikan pada ujung batang kaku sebesar $F_t = 10\text{Kg}$ (98 N).



Gambar 2.3 Torsional loading test boundary condition



Gambar 2.4 Torsional loading test head tube fixture

2.3.2 Frontal loading test

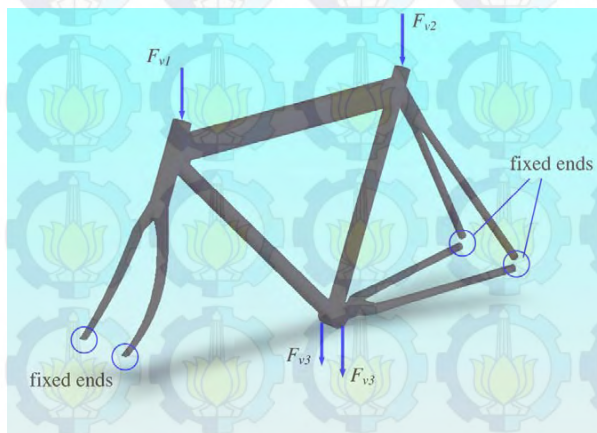
Frontal loading test seperti yang ditunjukkan gambar 2.4 adalah mirip dengan metode pengujian pada standar JIS. Fork depan sepeda diganti dengan batang kaku dan bagian belakang sepeda diberi penopang. Beban frontal yang diberikan sebesar $F_t = 490 \text{ N}$ arah horizontal.



Gambar 2.5 Frontal loading test

2.3.3 Vertical loading test

Vertical loading test seperti pada gambar 2.5 dilakukan mirip dengan pengujian getaran pada standar JIS. Beban diberikan pada bagian *head tube*, ujung *seat tube*, dan dudukan gear depan. Beban vertikal statis yang diberikan sebesar $F_{v1} = 6 \text{ Kgf}$ (58,8 N), $F_{v2} = 67 \text{ Kgf}$ (656,6 N) dan $F_{v3} = 13,5 \text{ Kgf}$ (132,3 N), total beban adalah 100 Kgf. Frame dikunci pada bagian ujung fork sepeda dan bagian belakang rangka.



Gambar 2.6 *Vertical loading test*

2.4 Teori Kegagalan untuk Komposit

Teori kegagalan untuk memprediksi kegagalan material komposit ada berbagai macam, diantaranya adalah teori tegangan maksimum, *Tsai-Hill*, dan teori *Tsai-Wu*. Ketiga teori yang disebutkan digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan faktor keamanan.[7]

2.4.1 Teori tegangan Maksimum

Dalam teori ini, tiga tegangan normal dan tiga tegangan geser dibandingkan dengan tekanan maksimumnya. Tegangan normal yang diberikan dibandingkan dengan tegangan tekan atau

tegangan tarik maksimum, tergantung arah tegangannya. Besarnya tegangan geser dibandingkan dengan tegangan geser maksimum.

Untuk tegangan normal,

$$X_c < \sigma_1 < X_t \quad (2.1)$$

$$Y_c < \sigma_2 < Y_t \quad (2.2)$$

$$Z_c < \sigma_3 < Z_t \quad (2.3)$$

Dimana:

X_c : Tegangan tekan arah 1

X_t : Tegangan tarik arah 1

Y_c : Tegangan tekan arah 2

Y_t : Tegangan tarik arah 2

Z_c : Tegangan tekan arah 3

Z_t : Tegangan tarik arah 3

σ_1 : Tegangan normal maksimum 1

σ_2 : Tegangan normal maksimum 2

σ_3 : Tegangan normal maksimum 3

Untuk tegangan geser,

$$|\tau_{23}| < Q \quad (2.4)$$

$$|\tau_{13}| < R \quad (2.5)$$

$$|\tau_{12}| < S \quad (2.6)$$

Dimana:

τ_{23} : Tegangan geser arah
2 dan 3

Q : Tegangan geser maksimum
arah 2 dan 3

τ_{13} : Tegangan geser arah
1 dan 3

R : Tegangan geser maksimum
arah 1 dan 3

τ_{12} : Tegangan geser arah
1 dan 2

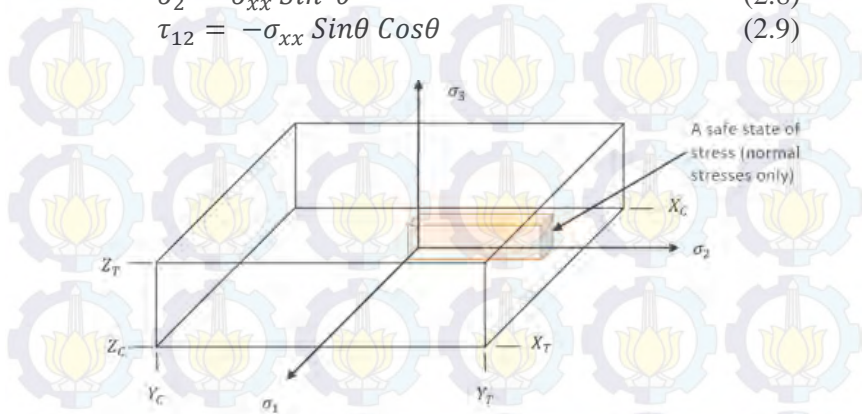
S : Tegangan geser maksimum
arah 1 dan 2

Ilustrasi tegangan yang terjadi dalam bentuk ruang tiga dimensi ditunjukkan pada gambar 2.6. Ruang kubus bagian dalam merupakan batas aman dari tegangan normal, sedangkan setiap titik di bagian luar merupakan bagian yang tidak aman. Pada bidang sumbu x dan y, tegangan normal maksimum pada sumbu x (aksial) adalah σ_{xx} . Karena nilai tegangan dipengaruhi oleh sudut kemiringan θ , maka persamaan tegangan normal maksimum dapat ditulis sebagai berikut;

$$\sigma_1 = \sigma_{xx} \cos^2 \theta \quad (2.7)$$

$$\sigma_2 = \sigma_{xx} \sin^2 \theta \quad (2.8)$$

$$\tau_{12} = -\sigma_{xx} \sin \theta \cos \theta \quad (2.9)$$



Gambar 2.7 Ilustrasi Tegangan Normal dalam 3 Dimensi

Sehingga, persamaan teori tegangan maksimum dapat dituliskan sebagai berikut;

$$X_c < \sigma_{xx} \cos^2 \theta < X_t \quad (2.10)$$

$$Y_c < \sigma_{xx} \sin^2 \theta < Y_t \quad (2.11)$$

$$|-\sigma_{xx} \sin \theta \cos \theta| < S \quad (2.12)$$

2.4.2 Teori Tsai Hill

Teori Tsai-Hill merupakan pengembangan dari teori Von-Mises.. Pada mulanya, Hill mengembangkan teori Von-Mises yang semula untuk material *isotropic* kemudian untuk material *anisotropic*. Kemudian, Tsai mengembangkan apa yang telah dilakukan oleh Hill untuk material dengan lapisan yang searah. Oleh karena itu, teori ini dinamakan teori Tsai-Hill. Menurut teori ini, kegagalan terjadi ketika

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{12} & \sigma_2 & \sigma_{23} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_3 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$P_h = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (2.14)$$

$$\sigma_D = \begin{bmatrix} \sigma_1 - P_h & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \tau_{12} & \sigma_2 - P_h & \sigma_{23} \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_3 - P_h \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \sqrt{3J_2} \\ &= \sqrt{\frac{(\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + 6(\sigma_{23}^2 + \sigma_{13}^2 + \sigma_{12}^2)}{2}} \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$1 = \sqrt{\frac{F(\sigma_2 - \sigma_3)^2 + G(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + H(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + L\sigma_{23}^2 + M\sigma_{13}^2 + N\sigma_{12}^2}{}} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} &(G + H)\sigma_1^2 + (F + H)\sigma_2^2 + (F + G)\sigma_3^2 - 2H\sigma_1\sigma_2 \\ &- 2G\sigma_1\sigma_3 - 2F\sigma_2\sigma_3 + 2L\sigma_4^2 + 2M\sigma_5^2 + 2N\sigma_6^2 = 1 \end{aligned} \quad (2.18)$$

di mana F, G, H, L, M, dan N adalah parameter kekuatan material dan nilai-nilai ini diperoleh dari hasil eksperimen. Dengan melakukan berbagai penurunan rumus dan menerapkan berbagai asumsi, maka persamaan di atas menjadi

$$\begin{aligned} &\frac{\sigma_1^2}{X^2} + \frac{\sigma_2^2}{Y^2} + \frac{\sigma_3^2}{Z^2} - \sigma_1\sigma_2 \left(\frac{1}{X^2} + \frac{1}{Y^2} - \frac{1}{Z^2} \right) - \sigma_1\sigma_3 \left(\frac{1}{X^2} - \frac{1}{Y^2} + \frac{1}{Z^2} \right) \\ &- \sigma_2\sigma_3 \left(-\frac{1}{X^2} + \frac{1}{Y^2} + \frac{1}{Z^2} \right) + \frac{\sigma_4^2}{Q^2} + \frac{\sigma_5^2}{R^2} + \frac{\sigma_6^2}{S^2} = 1 \end{aligned} \quad (2.19)$$

Persamaan 2.19 merupakan persamaan teori Tsai-Hill untuk ruang 3 dimensi.

Dari persamaan tersebut diketahui bahwa teori ini tidak membedakan tegangan normal tekan dan tegangan normal tarik.

Dengan demikian, nilai dan tanda tegangan normal harus diketahui secara pasti pada teori ini. Tidak seperti teori tegangan maksimum, teori Tsai-Hill menganggap adanya hubungan antara tiap-tiap komponen tegangan. Selain itu, teori ini merupakan teori terpadu dan tidak dapat digunakan untuk mengetahui tipe kegagalan.

2.4.3 Teori Tsai-Wu

Teori kegagalan Tsai-Wu merupakan pengembangan dari *the general quadratic failure* yang ditemukan oleh Gol'denblat dan Kopnov. Teori ini menggunakan total energi regangan (energy distorsi dan energy dilatasi) sebagai dasar dalam memperkirakan terjadinya kegagalan. Teori ini lebih menjelaskan kegagalan komposit secara umum dibandingkan teori Tsai-Hill, karena teori ini membedakan kegagalan yang disebabkan oleh tekanan dan kegagalan yang disebabkan oleh tarikan.

Secara garis besar, teori ini dijelaskan dalam persamaan sebagai berikut

$$F_i \sigma_i + F_{ij} \sigma_i \sigma_j \leq 1 \quad (2.20)$$

di mana nilai dari F_{ij} berhubungan dengan parameter kekuatan material pada lapisan dan didapatkan dari hasil eksperimen. Jika diasumsikan $F_{ij} = F_{ji}$ dan tidak ada hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser, maka persamaan Tsai-Wu untuk material *orthotropic* dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} &F_1 \sigma_1 + F_2 \sigma_2 + F_3 \sigma_3 + F_4 \sigma_4 + F_5 \sigma_5 + F_6 \sigma_6 + F_{11} \sigma_1^2 \\ &+ F_{22} \sigma_2^2 + F_{33} \sigma_3^2 + F_{44} \sigma_4^2 + F_{55} \sigma_5^2 + F_{66} \sigma_6^2 \\ &+ 2F_{12} \sigma_1 \sigma_2 + 2F_{13} \sigma_1 \sigma_3 + 2F_{23} \sigma_2 \sigma_3 \leq 1 \end{aligned} \quad (2.21)$$

Jika diasumsikan nilai tegangan tekan dan tarik maksimum pada 3 arah menjadi σ_{1t} , σ_{1c} , σ_{2t} , σ_{2c} , σ_{3t} , σ_{3c} ; dan nilai tegangan geser maksimum adalah τ_{23} , τ_{12} , τ_{31} ; maka nilai-nilai di dalam persamaan Tsai-Wu dapat dicari dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \frac{1}{\sigma_{1t}} - \frac{1}{\sigma_{1c}}; F_2 = \frac{1}{\sigma_{2t}} - \frac{1}{\sigma_{2c}}; F_3 = \frac{1}{\sigma_{3t}} - \frac{1}{\sigma_{3c}}; \\
 F_4 &= F_5 = F_6 = 0; F_{11} = \frac{1}{\sigma_{1c}\sigma_{1t}}; F_{22} = \frac{1}{\sigma_{2c}\sigma_{2t}}; \\
 F_{33} &= \frac{1}{\sigma_{3c}\sigma_{3t}}; F_{44} = \frac{1}{\tau_{23}^2}; F_{55} = \frac{1}{\tau_{31}^2}; F_{66} = \frac{1}{\tau_{12}^2}
 \end{aligned} \quad (2.22)$$

Nilai F_{12} , F_{13} , F_{23} ditentukan melalui pengujian *equibiaxial*. Jika nilai tegangan *equibiaxial* adalah $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_{b12}$, $\sigma_1 = \sigma_3 = \sigma_{b13}$, $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_{b23}$; maka

$$F_{12} = \frac{1}{2\sigma_{b12}^2} [1 - \sigma_{b12}(F_1 + F_2) - \sigma_{b12}^2(F_{11} + F_{22})] \quad (2.23)$$

$$F_{13} = \frac{1}{2\sigma_{b13}^2} [1 - \sigma_{b13}(F_1 + F_3) - \sigma_{b13}^2(F_{11} + F_{33})] \quad (2.24)$$

$$F_{23} = \frac{1}{2\sigma_{b23}^2} [1 - \sigma_{b23}(F_2 + F_3) - \sigma_{b23}^2(F_{22} + F_{33})] \quad (2.25)$$

2.5 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah sebuah metode penyelesaian permasalahan teknik yang menggunakan pendekatan dengan membagi-bagi benda yang akan dianalisis ke dalam bentuk elemen-elemen yang berhingga yang saling berkaitan satu sama lain. Permasalahan teknik biasanya didekati dengan sebuah model matematik yang berbentuk persamaan diferensial (*partial differential equation*). Setiap model matematik tersebut memiliki persamaan-persamaan matematik lainnya yang ditentukan berdasarkan asumsi dan kondisi aktual yang disebut kondisi batas (*Boundary Condition*).

Jenis dari elemen hingga ada tiga macam yaitu, satu dimensi, dua dimensi, dan tiga dimensi. Langkah-langkah umum dalam menggunakan elemen hingga yaitu:

1. Diskritisasi/meshing dan pemilihan jenis elemen
2. Pemilihan fungsi deformasi (displacement function)
3. Menentukan persamaan hubungan antara regangan dan deformasi, serta antara tegangan dan regangan

4. Menentukan matriks persamaan dan kekakuan elemen
5. Penggabungan persamaan elemen pembentuk persamaan global / total dari sistem dan menentukan syarat batas.
6. Penyelesaian dari DOF yang tak diketahui, setelah syarat batas diberikan
7. Penyelesaian regangan dan tegangan elemen
8. Interpretasi hasil.

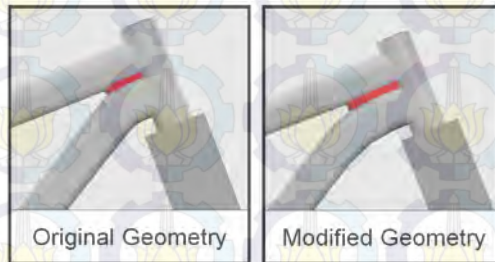
2.6 Kajian Pustaka

Forrest Dwyer, Adrian Shaw, dan Richard Tombarelli dari Worcester Polytechnic Institute (2012), melakukan penelitian untuk optimalisasi material *frame*, perlakuan panas, dan geometri yang bertujuan meningkatkan *fatigue life*. Untuk analisa kekuatan *frame*, penulis menggunakan dua jenis analisa yaitu analisa secara fisik dan analisa menggunakan software berbasis metode elemen hingga (FEA), standar pengujian yang digunakan adalah ASTM F2711-08 untuk pembebanan horisontal. Data pengujian *fatigue* menggunakan FEA pada sepeda desain awal dengan material aluminium 6061-T6 adalah 490.000 siklus dan pada pengujian fisik 449.000 siklus, jadi perbedaan antara metode FEA dan uji fisik adalah 8,4%. Data yang dihasilkan dari analisa secara fisik dan menggunakan FEA untuk analisa *fatigue* hampir sama.

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian, peneliti menginginkan umur siklus yang lebih panjang, maka perlu dilakukan optimasi geometri, perlakuan panas, dan pergantian material. Karena perbedaan data pengujian fisik dan FEA tidak terlalu jauh, maka peneliti melakukan optimasi dengan menggunakan FEA, alasannya adalah dapat mengubah geometri dengan mudah dan lebih menghemat biaya dan waktu. Material yang digunakan untuk mengganti material sebelumnya adalah aluminium 6013-T6. Data hasil optimasi dapat dilihat pada gambar 2.6, tabel 2.6, dan tabel 2.7.

Tabel 2.3 Data hasil optimasi material dan perlakuan panas [1]

Modification	Cycles to Failure	Predicted Failure Location	Cost
6061-T6 (current)	~490,000	Top tube near head tube or down tube near bottom bracket	No change
6013-T6	~2,000,000	Down tube near bottom bracket	No change (bulk purchase required)
7005-T6	~495,000	Top tube near head tube	~10% more than 6061
T4 heat treatment	~5,500	Top tube near head tube	No change
T7 heat treatment	~300,000	Top tube near head tube	No change



Gambar 2.8 Optimasi geometri [1]

Tabel 2.4 Data hasil optimasi geometri [1]

Modification	Cycles to Failure	Predicted Failure Location
Current geometry	~490.000	Top tube near head tube or down tube near bottom bracket
Extend weld length between top and down tubes	~300.000	Down tube near head tube
Adjust thickness of down tube near BB	~400.000	Top tube near head tube
Combined weld extension and adjusted thickness	~600,000	Down tube near bottom bracket

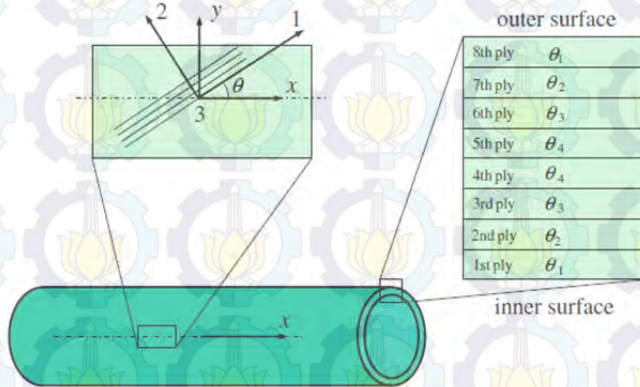
Tabel 2.5 Rekomendasi optimalisasi [1]

Modification	Cycles to Failure	Predicted Failure Location
6061-T6 and current geometry	~490,000	Top tube near head tube or down tube near bottom bracket
6013-T6 and current geometry	~2,000,000	Down tube near bottom bracket
6061-T6 and modified geometry	~600,000	Down tube near bottom bracket
6013-T6 and modified geometry	~3,500,000	Down tube near bottom bracket

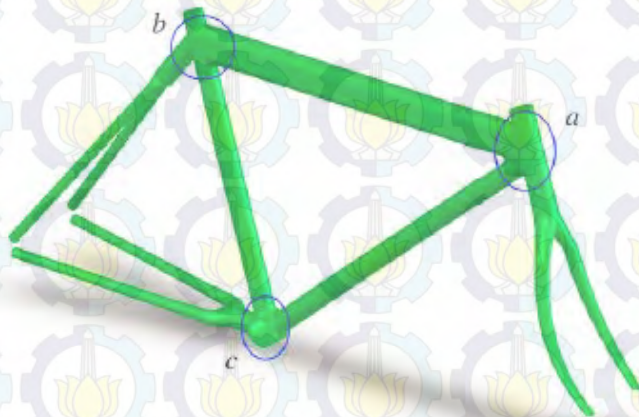
Berdasarkan analisa yang didapat dari optimasi menggunakan FEA, maka didapatkan rekomendasi optimalisasi rangka sepeda seperti pada tabel 2.8. Material yang digunakan adalah 6013-T6 dengan geometri yang telah dimodifikasi. Jumlah siklus sebesar 3.500.000 dan lokasi kegagalan diprediksi pada daerah *down tube* dekat dengan *bottom bracket*.

Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wub (2009), melakukan penelitian dengan judul *Fiber direction and stacking sequence design for bicycle frame made of carbon/epoxy composite laminate*. Penelitian yang dilakukan adalah membahas arah serat dan susunan lapisan pada rangka sepeda menggunakan material komposit *carbon/epoxy* menurut teori tegangan maksimum. Metode pengujian yang digunakan untuk pengujian rangka sepeda adalah pembebanan torsional, frontal, dan vertikal. Dari analisa menggunakan metode FEA didapatkan hasil desain susunan lapisan komposit yang baik yaitu [0/90/90/0]_s dan [0/90/45/-45]_s, sedangkan susunan lapisan komposit yang jelek adalah [0/0/0/0]_s, [90/90/90/90]_s, [45/45/45/45]_s dan [-45/-45/-45/-45]_s. Daerah yang rawan terjadi kegagalan terletak pada *fillet* dan sambungan, karena adanya konsentrasi tegangan. Lapisan *carbon fiber* dengan arah serat 0° dan 90° yang diletakkan pada

inner dan *outer* secara efektif dapat menghambat tegangan tinggi yang terjadi pada daerah tersebut.



Gambar 2.9 Susunan komposit 8 lapisan [2]



Gambar 2.10 Lokasi daerah rawan [2]

Tabel 2.6 *better and bad design* [2]

Test method	Better designs			Bad designs		
	Case	R_{min}	Stacking	Case	R_{min}	Stacking
Torsional loading test	C	1.78	[0.90/90.0] ₁	H	0.42	[45/45/45/45] ₁
	1	1.60	[0.90/45/-45] ₁	I	0.48	[-45/-45/-45/-45] ₁
	4	1.60	[0.90/-45/45] ₁	7	0.48	[90/45/-45/0] ₁
				20	0.49	[45/90/0/-45] ₁
Frontal loading test				23	0.49	[45/90/-45/0] ₁
				10	0.50	[90/45/0/-45] ₁
				19	0.50	[45/0/90/-45] ₁
	12	0.86	[90/0/-45/45] ₁	I	0.16	[-45/-45/-45/-45] ₁
	24	0.85	[45/-45/90/0] ₁	H	0.17	[45/45/45/45] ₁
	21	0.84	[45/-45/0/90] ₁	G	0.18	[90/90/90/90] ₁
Vertical loading test	18	0.83	[-45/45/90/0] ₁	F	0.25	[0/0/0/0] ₁
	C	0.81	[0.90/90/0] ₁			
	D	0.81	[90/0/0/90] ₁			
	9	0.77	[90/0/45/-45] ₁			
	I	0.76	[0.90/45/-45] ₁			
	15	0.75	[-45/45/0/90] ₁			
	C	20.1	[0.90/90/0] ₁	I	3.33	[-45/-45/-45/-45] ₁
	1	20.1	[0.90/45/-45] ₁	G	3.84	[90/90/90/90] ₁
	4	13.1	[0.90/-45/45] ₁	F	3.86	[0/0/0/0] ₁
				H	4.44	[45/45/45/45] ₁

Tabel 2.7 Lokasi daerah rawan dan susunan lapisan [2]

Test method	Better designs			Bad designs			Failure stress
	Case	R_{min}	Weak region	Case	R_{min}	Weak region	
Torsional loading test	C	1.78	a	H	0.42	b	σ_2
	I	1.50	b	I	0.48	b	σ_2
	4	1.50	b	7	0.48	b	σ_2
				20	0.49	b	σ_2
Frontal loading test				23	0.49	b	σ_2
				10	0.50	b	σ_2
				19	0.50	b	σ_2
	12	0.86	a	I	0.16	a	σ_2
	24	0.85	a	H	0.17	a	σ_2
	21	0.84	a	G	0.18	a	σ_2
	18	0.83	a	F	0.25	a	σ_2
	C	0.81	a				
Vertical loading test	D	0.81	a				
	9	0.77	a				
	I	0.76	a				
	15	0.75	a				
	C	20.1	b	I	3.33	b	σ_2
	I	20.1	b	G	3.84	b	σ_2
	4	19.1	b	F	3.86	b	σ_2
				H	4.44	b	σ_2



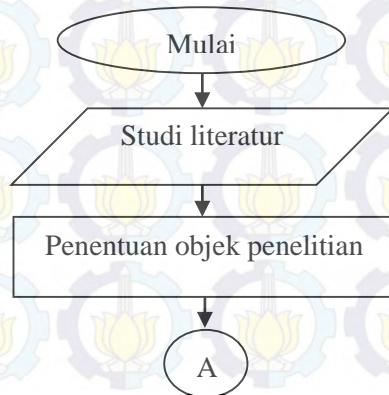
BAB III METODOLOGI

3.1 Prosedur Penelitian

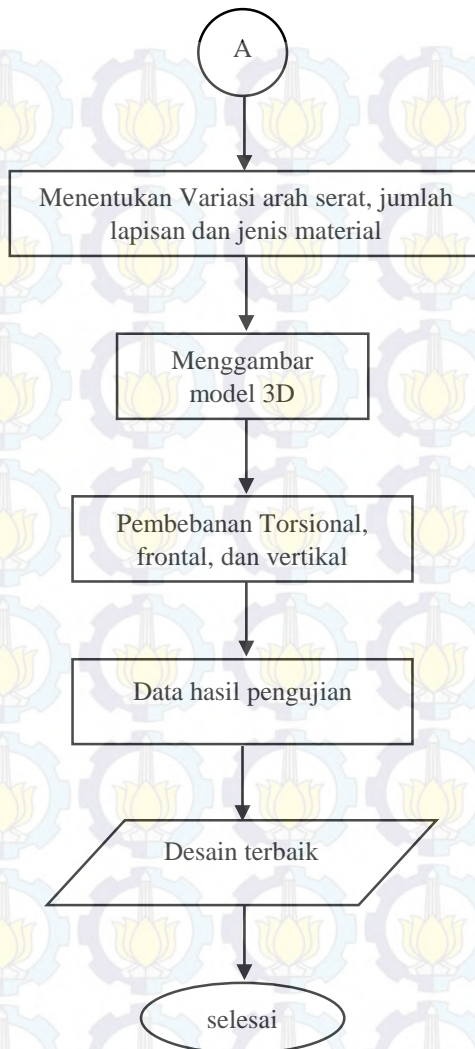
Prosedur penelitian dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

1. Tahap awal adalah melakukan analisa-analisa dengan studi literatur terhadap buku, jurnal dan penelitian terdahulu tentang rangka sepeda.
2. Tahap kedua adalah menentukan objek yang akan diteliti yaitu, rangka *road bike* dengan material carbon fiber.
3. Tahap ketiga adalah menggambar model 3D rangka *road bike* sepeda menggunakan SolidWork
4. Tahap keempat adalah *meshing* gambar rangka *road bike* di solidwork atau diimport ke software lain
5. Tahap kelima yaitu melakukan pembebanan torsional, frontal, dan vertikal sesuai dengan dasar teori sub bab 2.3.
6. Analisa data hasil simulasi pembebanan dan mengulang proses nomer 3, 4, dan 5 sampai didapatkan hasil baik.

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1a Diagram alir penelitian



Gambar 3.1b Diagram alir penelitian

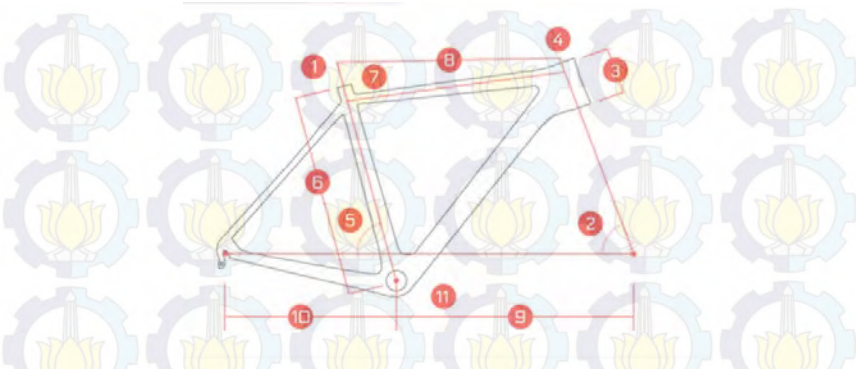
Sebelum menentukan judul tugas akhir, hal pertama yang harus dilakukan adalah studi literature, yaitu dengan mencari jurnal dan buku lalu dipelajari dan dianalisa. Studi literatur dimaksudkan untuk menambah wawasan kasus, teori, inovasi, dan ilmu yang sedang berkembang. Kasus, teori, ilmu yang sedang berkembang, dan inovasi yang didapat pada saat studi literatur, dapat dijadikan dasar untuk menentukan objek penelitian.

Penentuan objek penelitian yaitu memilih objek yang akan dijadikan bahan penelitian berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan. Dengan objek yang sudah dipilih, maka dapat menentukan jenis penelitian, antara lain adalah eksperimen, simulasi, inovasi, dan pembuatan. Pada penelitian yang dilakukan, penulis memilih objek *road bike* dan dilakukan simulasi pengujian rangka dengan pembebanan torsional, frontal, dan vertikal.

Penelitian yang akan dilakukan adalah simulasi pengujian statis rangka *road bike* dengan menggunakan software berbasis metode elemen hingga. Software yang digunakan untuk simulasi pengujian statis ada banyak, dua diantaranya *solidwork* dan *ansys*. Sebelum dilakukan pengujian statis, perlu digambar model 3D.

Pengujian rangka sepeda dengan pembebanan torsional, frontal, dan vertikal dilakukan untuk mendapatkan data angka keamanan dan tegangan yang terjadi pada rangka sepeda. Dari data tersebut dapat digunakan untuk menentukan desain baik dan desain buruk rangka *road bike*.

3.3 Skema Gambar Road Bike

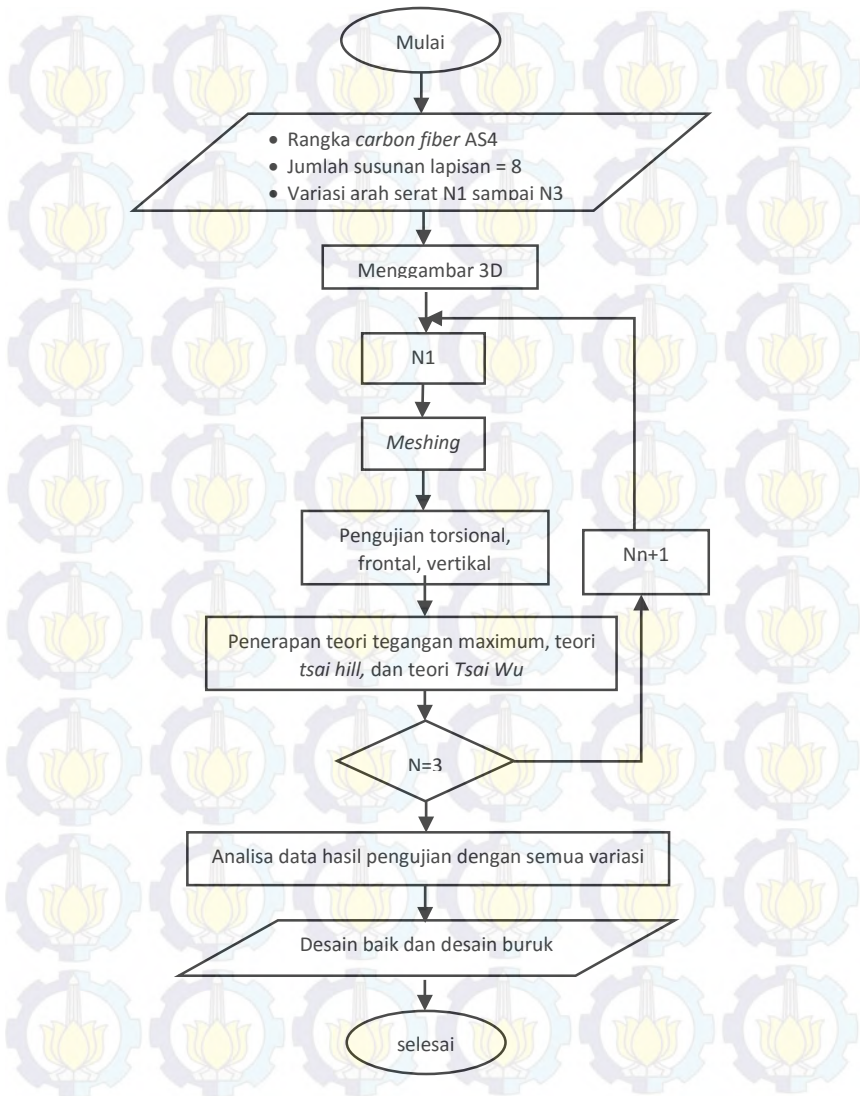


Gambar 3.2 Skema Rangka *Road Bike*

Tabel 3.1 Keterangan Skema Gambar

No	Nama Bagian Frame	Ukuran
1.	Seat Tube Diameter	47 mm
2.	Head Tube Angle	73,30 ⁰
3.	Head Tube Length	170 mm
4.	Head Tube Diameter	47 mm
5.	Seat Tube Angle	73 ⁰
6.	Seat Tube Length	570 mm
7.	Top Tube Actual	549 mm
8.	Top Tube Effective	565 mm
9.	Front Center	605 mm
10.	Rear Center	416 mm
11.	BB Height (BB Drop/Rise)	68,3 mm

3.4 Diagram Alir Pengujian Material *Carbon Fiber AS4*



Gambar 3.3 Diagram alir rangka sepeda material AS4

Material yang digunakan adalah *carbon fiber* jenis AS4 dengan jumlah 8 lapisan yang disusun secara simetris. Kombinasi arah serat yang digunakan adalah 0° , 45° , 90° , -45° dan variasi arah serat sebanyak 3 diambil sesuai dengan *better design* hasil penelitian sebelumnya [2] dan disesuaikan dengan arah tegangan yang terjadi ketika dilakukan pengujian. Desain baik dan buruk diketahui dari hasil pengujian dengan melihat angka keamanan dan *interlaminar shear stress*. Bila faktor keamanan kurang dari satu maka desain buruk dan bila *interlaminar shear stress* kurang dari *interlaminar shear strength* maka gagal.

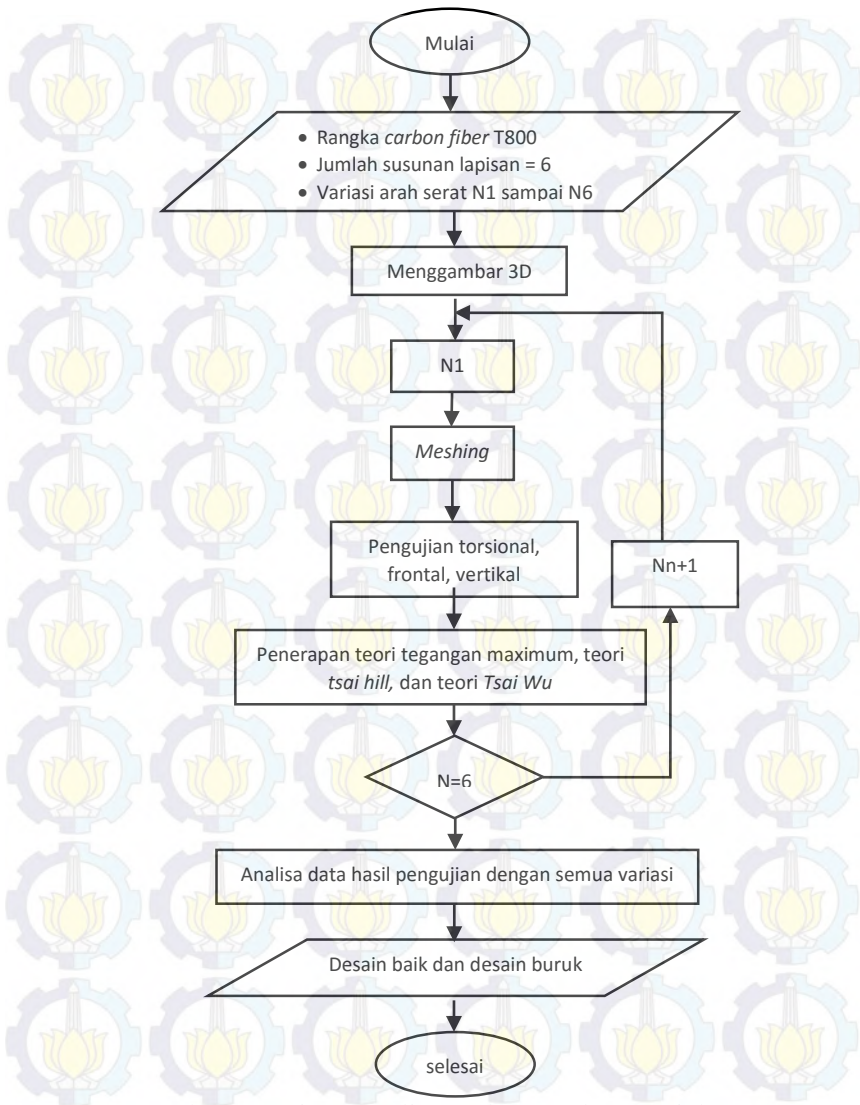
Tabel 3.2 Variasi arah serat pada material AS4

Case	Stacking
1	[0/90/90/0]s
2	[0/90/45/-45]s
3	[0/90/-45/45]s

Tabel 3.3 *Properties* material AS4 [6]

NO	Properties	AS4
1	Density g/cm ³	1,80
2	Poisson's Ratio	0,28
3	Tensile Modulus (GPa)	140
4	Tensile Strength (MPa)	2205
5	Shear Strength (MPa)	124
6	Shear modulus (GPa)	5,5

3.5 Diagram Alir Pengujian Material *Carbon Fiber T800*



Gambar 3.4 Diagram alir rangka sepeda material T800

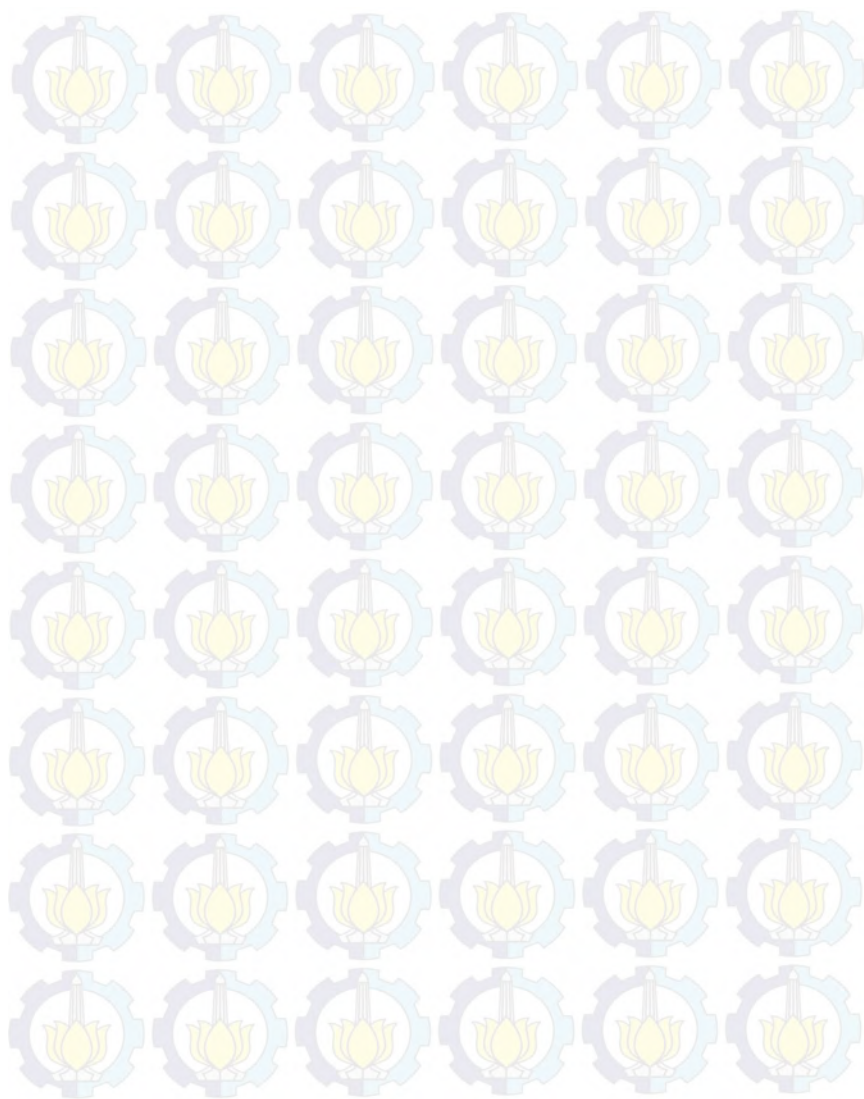
Material yang digunakan adalah *carbon fiber* jenis T800 dengan jumlah 6 lapisan yang disusun secara simetris. Kombinasi arah serat yang digunakan adalah 0° , 45° , 90° , -45° dan variasi arah serat sebanyak 6 berdasarkan arah tegangan yang terjadi. Desain baik dan buruk diketahui dari hasil pengujian dengan melihat angka keamanan dan *interlaminar shear stress*. Bila faktor keamanan kurang dari satu maka desain buruk dan bila *interlaminar shear stress* kurang dari *interlaminar shear strength* maka gagal.

Tabel 3.4 Variasi arah serat pada material T800

Case	Susunan Lapisan
1	[0/45/-45]s
2	[0/-45/45]s
3	[0/-45/90]s
4	[0/90/-45]s
5	[0/90/45]s
6	[0/45/90]s

Tabel 3.5 *Properties* material T800 [6]

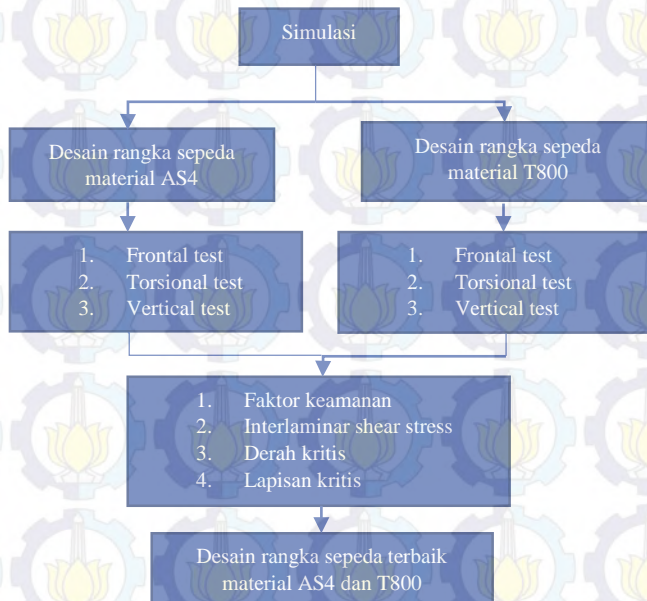
NO	Properties	T800
1	Density g/cm ³	1,8
2	Poisson's Ratio	0,28
3	Tensile Modulus (GPa)	160
4	Tensile Strength (MPa)	2840
5	Shear Strength (MPa)	94
6	Shear modulus (GPa)	6,2



BAB IV

HASIL DAN ANALISA

Simulasi pengujian rangka sepeda jenis *road bike* dengan material *carbon fiber* AS4 dengan jumlah lapisan delapan lapis simetris dan material *carbon fiber* T800 dengan jumlah lapisan enam lapis simetris telah dilakukan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian statis dengan tiga macam pembebanan yaitu frontal, torsional, dan vertikal menggunakan *software* solidworks 2016. Hasil yang didapat dari pengujian adalah daerah kritis, lapisan kritis, *interlaminar shear stress* dan faktor keamanan (FOS) yang berdasarkan teori Tsai-Wu, Tsai-Hill, dan Teori tegangan maksimum.

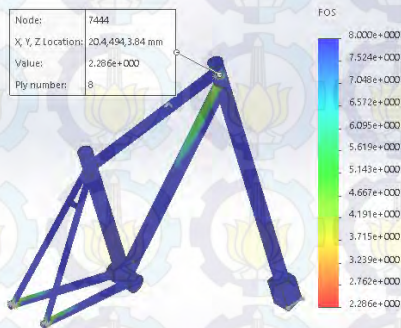


Gambar 4.1 Skema analisa

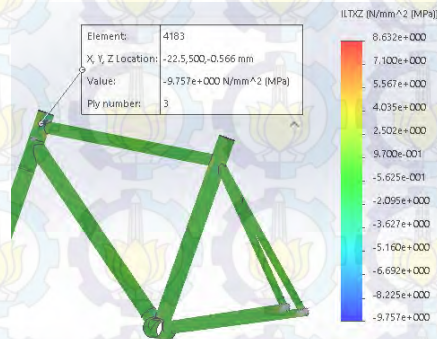
4.1 Data Hasil Pengujian Material AS4

Pada pengujian rangka sepeda material AS4 dengan jumlah lapisan delapan lapis, ada tiga kombinasi serat karbon yang digunakan berdasarkan desain terbaik dari penelitian sebelumnya yaitu $[0,90,45,-45]_s$, $[0,90,-45,45]_s$, dan $[0,90,90,0]_s$. Berat rangka sebesar 0,743 Kg dengan ketebalan total adalah 1,12 mm.

4.1.1 Data Pengujian Frontal Material AS4



Gambar 4.2 Contoh Hasil Pengujian Frontal pada Material AS4



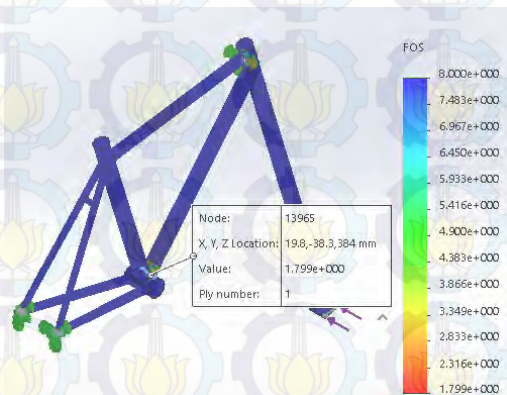
Gambar 4.3 Contoh *interlaminar shear stress XZ* Material AS4 (Frontal)

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Frontal pada Material AS4

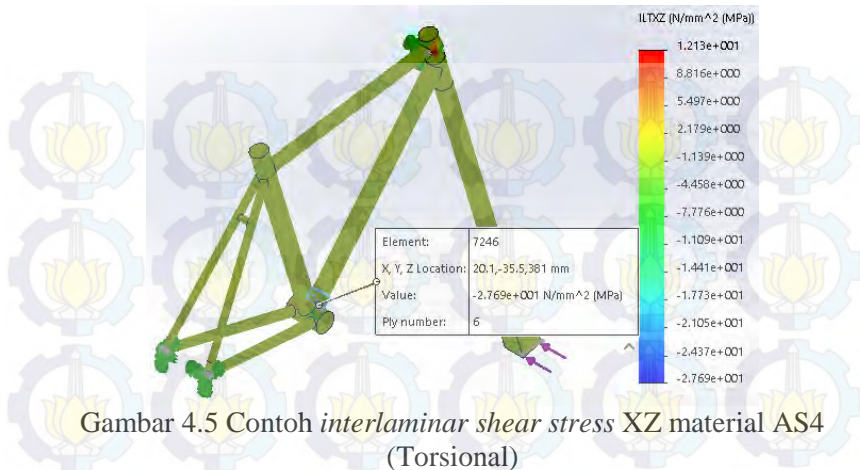
NO	Kombinasi sudut	Material	FOS (Tsai-Wu)	FOS (Tsai-Hill)	FOS (Max Stress)	ILTYZ (MPa)	ILTXZ (MPa)
1	[0,90,45,-45]S	AS4	1.867	1.860	1.863	10.4	11.4
2	[0,90,-45,45]S	AS4	1.868	1.857	1.860	13.7	13.7
3	[0,90,90,0]S	AS4	2.286	2.196	2.213	9.7	9.8

Berdasarkan data tabel 4.1 yang didapat dari pengujian frontal pada material AS4 seperti pada gambar 4.2, ketiga kombinasi serat mempunyai angka keamanan yang lebih dari satu berdasarkan teori Tsai-Wu, Tsai-Hill, dan teori tegangan maksimum, sehingga dinyatakan semuanya aman. Kombinasi serat no 3 mempunyai angka keamanan paling besar menurut ketiga teori dibandingkan dengan kombinasi serat no 1 dan 2. *Interlaminar shear stress* seperti contoh gambar 4.3, nilai terkecil pada kombinasi arah serat no 3, sumbu YZ sebesar 9,7 MPa dan pada sumbu XZ sebesar 9,8 MPa.

4.1.2 Pengujian Torsional Material AS4



Gambar 4.4 Contoh Hasil Pengujian Torsional Material AS4



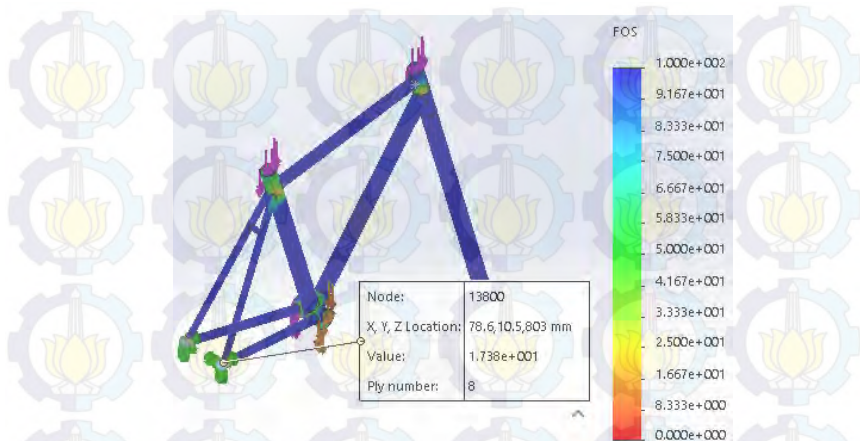
Gambar 4.5 Contoh *interlaminar shear stress* XZ material AS4 (Torsional)

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Torsional pada Material AS4

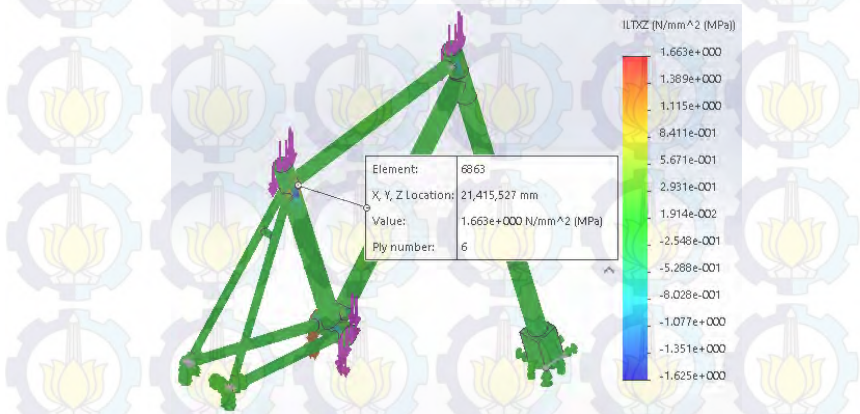
NO	Kombinasi sudut	Material	FOS (Tsai-Wu)	FOS (Tsai-Hill)	FOS (Max Stress)	ILTYZ (MPa)	ILTXZ (MPa)
1	[0,90,45,-45]S	AS4	1.578	1.596	1.656	36.5	36.5
2	[0,90,-45,45]S	AS4	1.542	1.559	1.624	36.5	36.5
3	[0,90,90,0]S	AS4	1.506	1.592	1.799	27.7	27.6

Berdasarkan data pada tabel 4.2 yang didapat dari pengujian torsional pada material AS4 seperti contoh gambar 4.4, ketiga kombinasi serat mempunyai angka keamanan yang lebih dari satu berdasarkan teori *Tsai-Wu*, *Tsai-Hill*, dan teori tegangan maksimum, sehingga dinyatakan semuanya aman. Kombinasi serat no 1, 2 dan 3 mempunyai angka keamanan yang hampir sama pada ketiga teori yang digunakan, kecuali angka keamanan pada kombinasi arah serat no 3 pada teori tegangan maksimum. *Interlaminar shear stress* seperti pada contoh gambar 4.5, nilai terkecil pada kombinasi arah serat no 3, sumbu YZ sebesar 27,7 MPa dan pada sumbu XZ sebesar 27,6 MPa.

4.1.2 Pengujian Vertikal Material AS4



Gambar 4.6 Contoh Pengujian Vertikal Pada material AS4



Gambar 4.7 Contoh *interlaminar shear stress XZ* material AS4 (Vertikal)

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Vertikal pada Material AS4

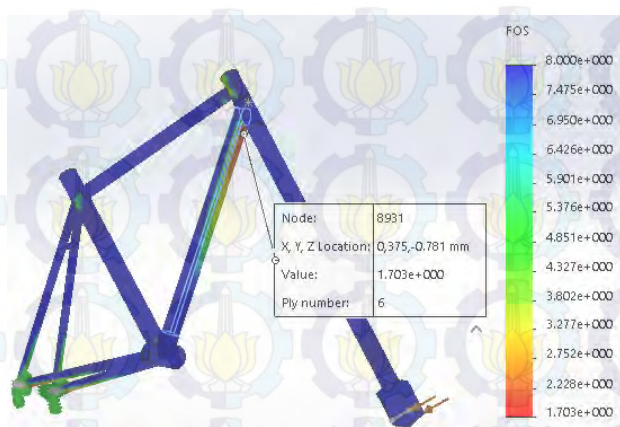
NO	Kombinasi sudut	Material	FOS (Tsai-Wu)	FOS (Tsai-Hill)	FOS (Max Stress)	ILTYZ (MPa)	ILTXZ (MPa)
1	[0,90,45,-45]S	AS4	27.691	27.831	28.958	2.1	2.1
2	[0,90,-45,45]S	AS4	27.216	26.699	27.811	2.2	2.2
3	[0,90,90,0]S	AS4	17.376	17.110	17.209	1.6	1.6

Berdasarkan data tabel 4.3 yang didapat dari pengujian vertikal pada material AS4 seperti pada contoh gambar 4.6, ketiga kombinasi serat mempunyai angka keamanan yang lebih dari satu berdasarkan teori Tsai-Wu, Tsai-Hill, dan teori tegangan maksimum, sehingga dinyatakan semuanya aman. Angka keamanan pada ketiga kombinasi serat pada pengujian vertikal sangat besar jika dibandingkan dengan angka keamanan pada pengujian frontal dan torsional, dikarenakan *stress* yang terjadi ILTYZ dan ILTXZ seperti pada contoh gambar 4.7 sangat kecil bila dibandingkan dengan *stress* yang terjadi pada pengujian frontal dan torsional.

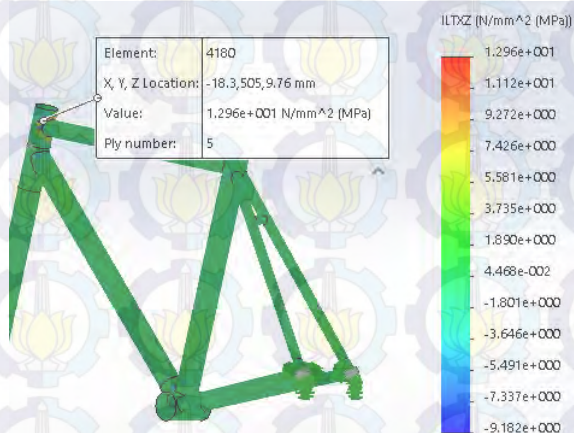
4.2 Data Hasil Pengujian Material T800

Pada pengujian rangka sepeda material T800 dengan jumlah lapisan enam lapis, ada enam kombinasi serat karbon yang digunakan yaitu [0,45,-45]_s, [0,-45,45]_s, [0,45,90]_s, [0,-45,90]_s, [0,90,45]_s, dan [0,90,-45]_s. Enam kombinasi dipilih berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan hasil terbaik adalah kombinasi serat dengan lapisan pertama menggunakan sudut serat 0. Berat rangka sebesar 0,640 Kg dengan ketebalan total adalah 0,96 mm.

4.2.1 Pengujian Frontal Material T800



Gambar 4.8 Contoh Pengujian Vertikal Pada material T800



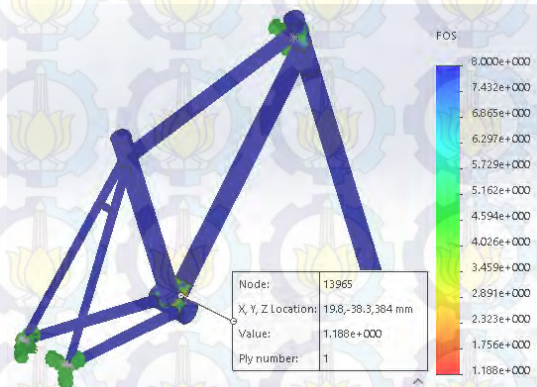
Gambar 4.9 Contoh *interlaminar shear stress* XZ material T800 (Frontal)

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Frontal pada Material T800

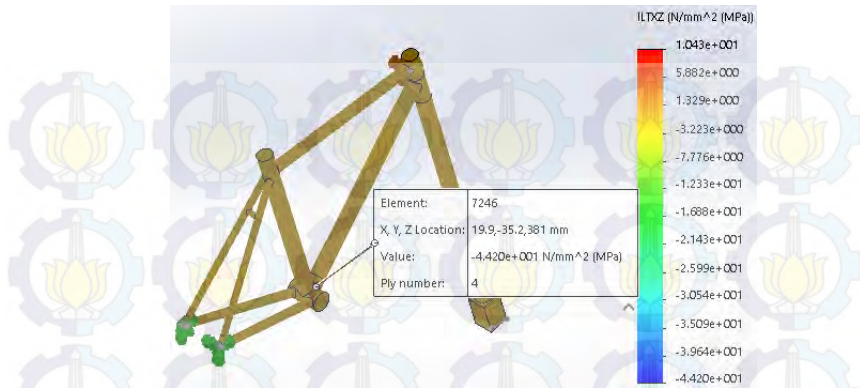
NO	Kombinasi sudut	Material	FOS (Tsai-Wu)	FOS (Tsai-Hill)	FOS (Max Stress)	ILTYZ (MPa)	ILTXZ (MPa)
1	[0,45,-45]S	T800	1.701	1.885	2.294	9.5	10.0
2	[0,-45,45]S	T800	1.702	1.881	2.291	13.1	12.9
3	[0,45,90]S	T800	1.231	1.203	1.250	8.7	9.6
4	[0,-45,90]S	T800	1.232	1.204	1.252	11.3	13.8
5	[0,90,45]S	T800	1.180	1.143	1.183	10.6	9.6
6	[0,90,-45]S	T800	1.181	1.144	1.185	8.4	13.7

Berdasarkan data tabel 4.4 yang didapat dari pengujian frontal pada material T800 seperti pada gambar 4.8, semua kombinasi serat mempunyai angka keamanan yang lebih dari satu berdasarkan teori Tsai-Wu, Tsai-Hill, dan teori tegangan maksimum, sehingga dinyatakan semuanya aman. Angka keamanan paling besar dimiliki oleh kombinasi serat no 1 dan 2. Sedangkan angka keamanan paling kecil dimiliki oleh kombinasi serat no 5 dan 6. *Interlaminar shear stress* yang terjadi seperti pada contoh gambar 4.9 sangat kecil bila dibandingkan dengan *shear strength* material T800 yaitu 94 Mpa, sehingga sangat aman.

4.2.2 Pengujian Torsional Material T800



Gambar 4.10 Contoh Pengujian Torsional Pada material T800



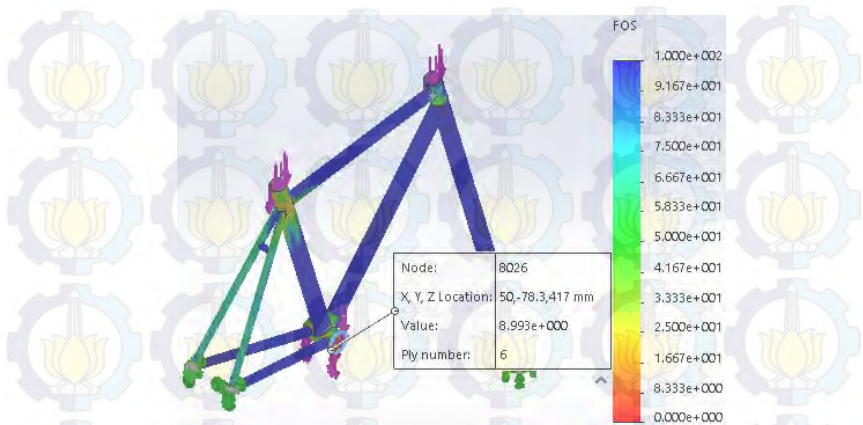
Gambar 4.11 Contoh *interlaminar shear stress* XZ material T800 (Torsional)

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Torsional pada Material T800

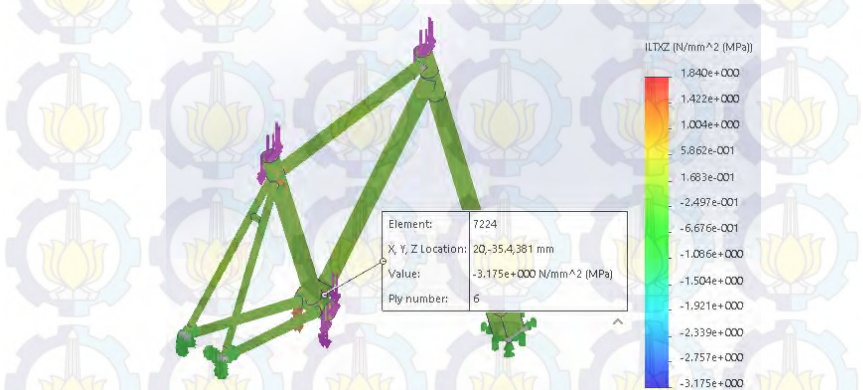
NO	Kombinasi sudut	Material	FOS (Tsai-Wu)	FOS (Tsai-Hill)	FOS (Max Stress)	ILTYZ (MPa)	ILTXZ (MPa)
1	[0,45,-45]S	T800	1.181	1.223	1.280	24.5	44.5
2	[0,-45,45]S	T800	1.188	1.232	1.288	24.5	44.2
3	[0,45,90]S	T800	1.105	1.142	1.195	25.6	47.3
4	[0,-45,90]S	T800	1.112	1.154	1.208	25.8	46.2
5	[0,90,45]S	T800	1.124	1.163	1.126	25.2	46.6
6	[0,90,-45]S	T800	1.126	1.168	1.222	25.5	45.6

Berdasarkan data tabel 4.5 yang didapat dari pengujian torsional pada material T800 seperti pada gambar 4.10, semua kombinasi serat mempunyai angka keamanan yang lebih dari satu berdasarkan teori Tsai-Wu, Tsai-Hill, dan teori tegangan maksimum, sehingga dinyatakan semuanya aman. Angka keamanan paling besar dimiliki oleh kombinasi serat no 1 dan 2. Sedangkan angka keamanan paling kecil dimiliki oleh kombinasi serat no 3 dan 4. Nilai terkecil *Interlaminar shear stress* yang terjadi seperti contoh gambar 4.11, pada kombinasi arah serat no 1 dan 2, sumbu YZ sebesar 24 MPa dan pada sumbu XZ sebesar 44 MPa.

4.2.3 Pengujian Vertikal Material T800



Gambar 4.12 Contoh Pengujian Vertikal Pada material T800



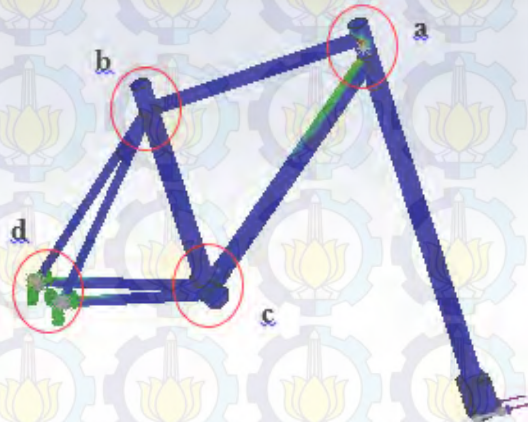
Gambar 4.13 Contoh *interlaminar shear stress* XZ material T800 (Vertikal)

Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Vertikal pada Material T800

NO	Kombinasi sudut	Material	FOS (Tsai-Wu)	FOS (Tsai-Hill)	FOS (Max Stress)	ILTYZ (MPa)	ILTXZ (MPa)
1	[0,45,-45]S	T800	10.477	10.010	10.087	1.8	3.2
2	[0,-45,45]S	T800	8.993	9.055	9.065	1.4	3.2
3	[0,45,90]S	T800	13.327	13.496	13.921	1.5	2.9
4	[0,-45,90]S	T800	12.416	11.968	12.400	1.6	3.5
5	[0,90,45]S	T800	13.323	14.918	15.720	1.4	2.9
6	[0,90,-45]S	T800	13.586	14.760	15.329	1.5	3.5

Berdasarkan data tabel 4.6 yang didapat dari pengujian torsional pada material T800 seperti pada gambar 4.12, semua kombinasi serat mempunyai angka keamanan yang lebih dari satu berdasarkan teori *Tsai-Wu*, *Tsai-Hill*, dan teori tegangan maksimum, sehingga dinyatakan semuanya aman. Angka keamanan semua kombinasi serat pada pengujian vertikal sangat besar jika dibandingkan dengan angka keamanan pada pengujian frontal dan torsional, dikarenakan *stress* yang terjadi ILTYZ dan ILTYZ seperti pada contoh gambar 4.13 sangat kecil bila dibandingkan dengan *stress* yang terjadi pada pengujian frontal dan torsional.

4.3 Daerah Kritis dan Lapisan Kritis



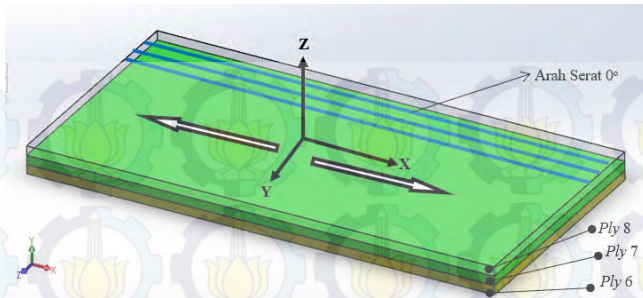
Gambar 4.14 Daerah kritis pada rangka sepeda

Tabel 4.7 Daerah kritis dan lapisan kritis pada rangka material AS4 Berdasarkan FOS

Metode Pengujian	Kombinasi sudut	Daerah Kritis	Lapisan Kritis
Frontal	[0,90,45,-45]S	a	8
	[0,90,-45,45]S	a	8
	[0,90,90,0]S	a	8
Torsional	[0,90,45,-45]S	c	1
	[0,90,-45,45]S	c	1
	[0,90,90,0]S	c	1
Vertikal	[0,90,45,-45]S	c	1
	[0,90,-45,45]S	c	1
	[0,90,90,0]S	d	8

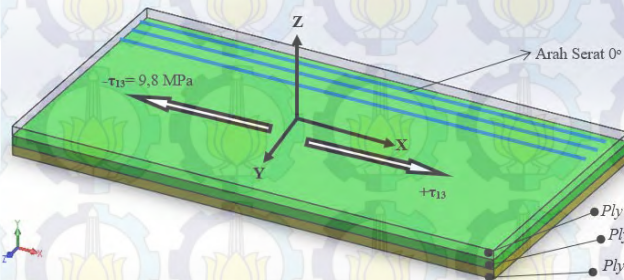
Tabel 4.8 Daerah kritis dan lapisan kritis pada rangka material T800 Berdasarkan FOS

Metode Pengujian	Kombinasi sudut	Daerah Kritis	Lapisan Kritis
Frontal	[0,45,-45]S	a	6
	[0,-45,45]S	a	6
	[0,45,90]S	d	6
	[0,-45,90]S	d	6
	[0,90,45]S	d	2
	[0,90,-45]S	d	2
Torsional	[0,45,-45]S	b	1
	[0,-45,45]S	b	1
	[0,45,90]S	c	1
	[0,-45,90]S	c	1
	[0,90,45]S	c	1
	[0,90,-45]S	c	1
Vertikal	[0,45,-45]S	b	1
	[0,-45,45]S	b	1
	[0,45,90]S	c	6
	[0,-45,90]S	c	6
	[0,90,45]S	c	5
	[0,90,-45]S	c	5



Gambar 4.15 contoh Ilustrasi letak lapisan kritis berdasarkan FOS

(ilustrasi berdasarkan data pada gambar 4.1 pegujian frontal AS4 kombinasi serat no 3)



Gambar 4.16 contoh Ilustrasi letak lapisan kritis berdasarkan *interlaminar shear stress*

(ilustrasi berdasarkan data pada gambar 4.2 pegujian frontal AS4 kombinasi serat no 3)

Daerah kritis pada gambar 4.14 adalah daerah yang mempunyai FOS paling rendah atau daerah yang terdapat *interlaminar shear stress* paling besar pada satu pengujian.

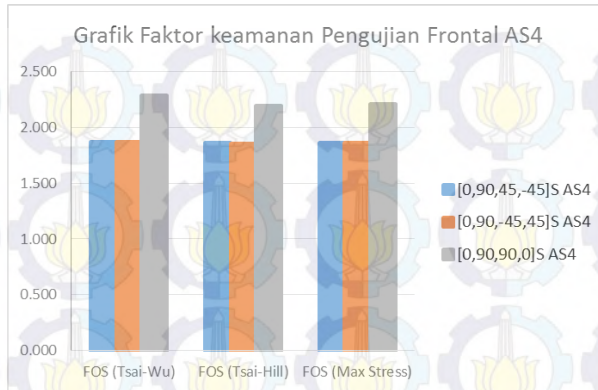
Sedangkan lapisan kritis adalah lapisan yang mempunyai FOS paling rendah atau lapisan yang terdapat *interlaminar shear stress* paling besar pada satu pengujian. Berdasarkan nilai *interlaminar shear stress* pada data sub bab 4.1 dan 4.2 bila dibandingkan dengan *shear strength* pada masing-masing *proreties* material yaitu AS4 124 Mpa dan T800 94 Mpa, maka semua kombinasi serat mempunyai *interlaminar shear stress* yang jauh dibawah *shear strength* masing-masing *properties*, sehingga sangat aman. Oleh sebab itu penulis tidak membahas lebih dalam mengenai *interlaminar shear stress*. Ilustrasi *interlaminar shear stress* digambarkan seperti pada gambar 4.15 dan 4.16.

Berdasarkan tabel 4.7 dan tabel 4.8 dapat diketahui bahwa semua daerah kritis terletak pada bagian disekitar sambungan. Dengan demikian hasil yang didapat oleh peneliti sesuai dengan hasil yang didapat oleh penelitian sebelumnya oleh Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wub yaitu sebagian besar daerah kritis terletak pada daerah sambungan.

4.4 Analisa dan Pembahasan

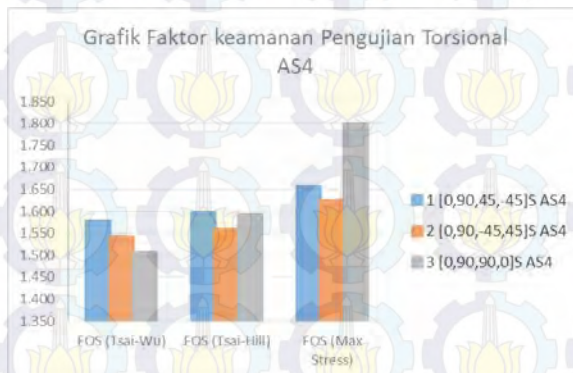
Pada subbab 4.3.1 membahas angka keamanan pada rangka sepeda material AS4 dengan jumlah lapisan 8 lapis yang akan dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wub. Pada subbab 4.3.2 membahas angka keamanan pada rangka sepeda material T800 dengan jumlah lapisan 6 lapis. Angka keamanan pada rangka material T800 dibandingkan satu sama lain sehingga didapatkan desain kombinasi arah serat 6 lapis yang terbaik. Subbab 4.3.3 membandingkan desain terbaik pada rangka material T800 dengan rangka material, sehingga dapat diketahui kelebihan dan kekurangan masing-masing desain.

4.4.1 Analisa dan Pembahasan Material AS4



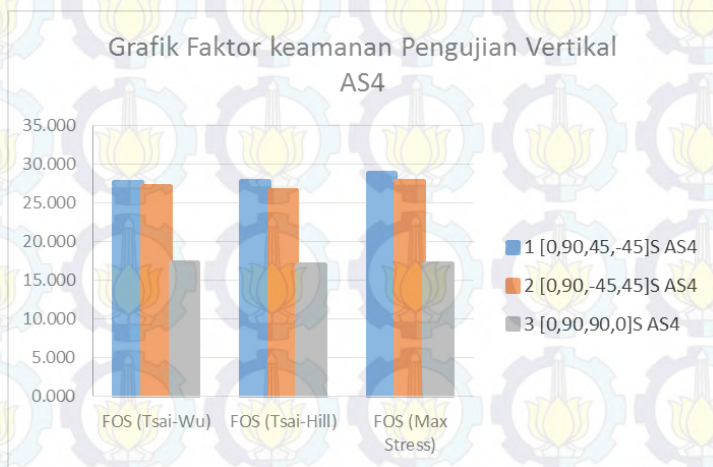
Gambar 4.17 FOS Pengujian Frontal AS4

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.17 dapat diketahui bahwa besarnya FOS pada kombinasi serat $[0,90,90,0]_s$ mempunyai nilai yang paling besar. Hasil penelitian sebelumnya pada tabel 2.10 juga menunjukkan bahwa angka keamanan pada *case c* $[0,90,90,0]_s$ mempunyai nilai lebih besar dari pada kombinasi serat $[0,90,45,-45]_s$ dan $[0,90,-45,45]_s$.



Gambar 4.18 FOS Pengujian Torsional AS4

Gambar 4.18 grafik angka keamanan pengujian torsional pada rangka sepeda dengan material AS4 menunjukkan bahwa besarnya FOS pada kombinasi serat $[0,90,45,-45]_s$ dan $[0,90,-45,45]_s$ hampir sama pada setiap teori kegagalan, hal tersebut dikarenakan mempunyai kombinasi serat yang mirip. Sedangkan FOS pada kombinasi serat $[0,90,90,0]_s$ mempunyai angka keamanan yang sama pada teori Tsai-Wu dan Tsai-Hill pada kombinasi serat $[0,90,45,-45]_s$ dan $[0,90,-45,45]_s$, tetapi angka keamanan pada teori tegangan maksimum mempunyai angka keamanan yang lebih besar. Dengan demikian bahwa kombinasi arah serat $[0,90,90,0]_s$ mempunyai FOS paling besar pada teori tegangan maksimum sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu kombinasi arah serat $[0,90,90,0]_s$ mempunyai FOS paling besar dari pada kombinasi arah serat $[0,90,45,-45]_s$ dan $[0,90,-45,45]_s$ pada teori tegangan maksimum.



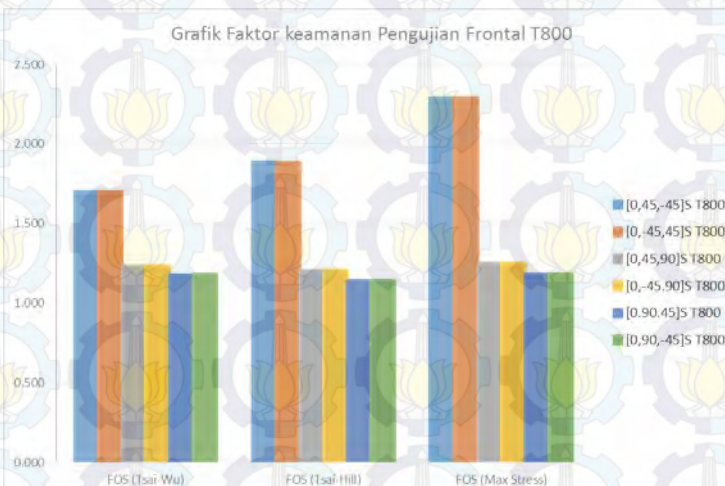
Gambar 4.19 FOS Pengujian Vertikal AS4

Gambar 4.19 grafik pengujian vertikal pada rangka sepeda dengan material AS4 menunjukkan bahwa besarnya FOS pada kombinasi serat $[0,90,45,-45]_s$ dan $[0,90,-45,45]_s$ mempunyai nilai yang hampir sama pada setiap teori kegagalan. Sedangkan

besarnya FOS pada kombinasi serat $[0,90,90,0]_s$ jauh dibawah FOS kombinasi serat $[0,90,45,-45]_s$ dan $[0,90,-45,45]_s$. Meskipun demikian FOS pada kombinasi serat $[0,90,90,0]_s$ masih sangat aman karena nilainya sangat besar.

Kesimpulan yang didapat dari pembahasan ketiga pengujian terhadap rangka sepeda dengan material AS4 adalah semua kombinasi serat mempunyai angka keamanan yang baik pada setiap teori kegagalan pada pengujian frontal, torsional dan vertikal. Sehingga dapat diketahui bahwa metode pengujian dan hasil penelitian sebelumnya oleh Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wub yang meneliti tentang kombinasi arah serat *carbon fiber* T300 pada rangka *road bike* menggunakan *software* ANSYS dapat diaplikasikan pada rangka *road bike* material *carbon fiber* AS4 menggunakan *software* solidworks 2016.

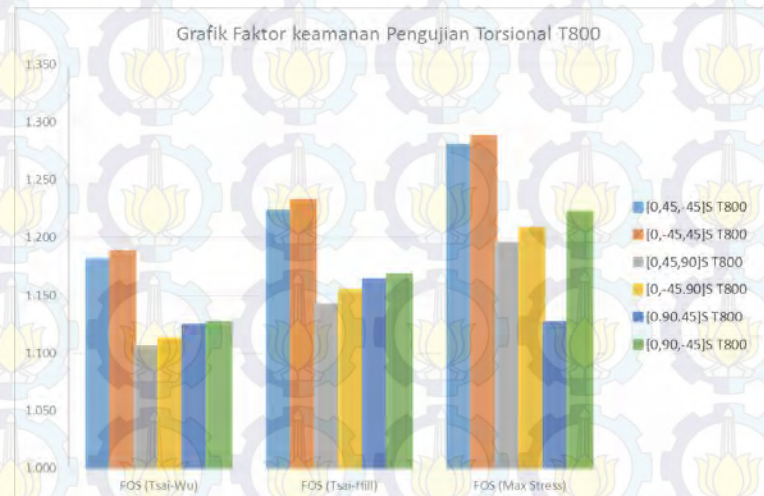
4.4.2 Analisa dan Pembahasan Material T800



Gambar 4.20 FOS Pengujian Frontal T800

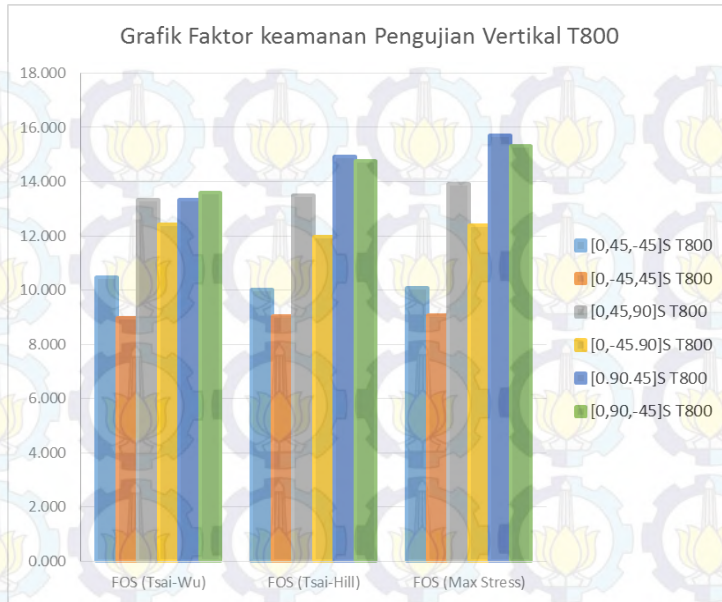
Berdasarkan gambar 4.20 grafik pengujian frontal pada rangka dengan material T800 bahwa kombinasi serat $[0,-45,45]_s$

dan $[0,45,-45]_s$ mempunyai FOS paling tinggi dari pada kombinasi arah serat yang lain. Sehingga kombinasi arah serat $[0,-45,45]_s$ dan $[0,45,-45]_s$ dapat ditentukan sebagai desain terbaik pada pengujian frontal.



Gambar 4.21 FOS Pengujian Torsional T800

Berdasarkan gambar 4.21 grafik pengujian torsional, kombinasi arah serat $[0,-45,45]_s$ dan $[0,45,-45]_s$ mempunyai angka keamanan yang lebih baik dari pada kombinasi arah serat yang lain. Sehingga kombinasi arah serat $[0,-45,45]_s$ dan $[0,45,-45]_s$ dapat ditentukan sebagai desain terbaik pada pengujian torsional.



Gambar 4.22 FOS Pengujian Vertikal T800

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh gambar 4.22 grafik pengujian vertikal, kombinasi arah serat $[0,-45,45]_s$ dan $[0,45,-45]_s$ berbanding terbalik dengan hasil pengujian frontal dan torsional yaitu mempunyai faktor keamanan yang lebih kecil dari pada yang lain. Meskipun demikian angka keamanan pada kombinasi arah serat $[0,-45,45]_s$ dan $[0,45,-45]_s$ masih sangat aman. Pada pengujian vertikal angka keamanan terbesar dimiliki oleh kombinasi arah serat $[0,90,45]_s$ dan $[0,90,-45]_s$.

Menurut hasil pembahasan pada pengujian frontal, torsional dan vertikal pada rangka sepeda material T800 dengan jumlah lapisan enam lapis. Maka dapat disimpulkan bahwa desain terbaik adalah kombinasi arah serat $[0,-45,45]_s$ dan $[0,45,-45]_s$.

4.4.3 Desain Terbaik

Tabel 4.9 Desain terbaik rangka

Metode Pengujian	Kombinasi sudut	Material	FOS (Tsai-Wu)	FOS (Tsai-Hill)	FOS (Max Stress)	ILTYZ (MPa)	ILTXZ (MPa)
Frontal	[0,90,90,0]S	AS4	2,286	2,196	2,213	9,7	9,8
	[0,45,-45]S	T800	1,701	1,885	2,294	9,5	10,0
Torsional	[0,90,90,0]S	AS4	1,506	1,592	1,799	27,7	27,6
	[0,45,-45]S	T800	1,181	1,223	1,280	24,5	44,5
Vertikal	[0,90,90,0]S	AS4	17,376	17,110	17,209	1,6	1,6
	[0,45,-45]S	T800	10,477	10,010	10,087	1,8	3,2

Tabel 4.10 Berat rangka

Kombinasi sudut	Material	Berat Rangka (gram)	Tebal Total (mm)
[0,90,90,0]S	AS4	743	1,12
[0,45,-45]S	T800	640	0,96

Berdasarkan analisa data yang dilakukan, tabel 4.9 menunjukkan desain terbaik pada rangka sepeda material AS4 dengan jumlah susunan lapisan delapan lapis adalah kombinasi arah serat [0,90,90,0]s. Kombinasi arah serat terbaik tersebut sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wub yang menggunakan *software* ANSYS. Dengan demikian dapat meyakinkan peneliti untuk melakukan penelitian lebih lanjut pada rangka sepeda dengan material T800 dengan jumlah lapisan enam lapis.

Tabel 4.9 menunjukkan desain terbaik pada rangka sepeda material T800 dengan jumlah susunan lapisan enam lapis adalah kombinasi arah serat [0,45,-45]s. Faktor keamanan terkecil yaitu pada saat dilakukan pengujian torsional dengan rata-rata FOS 1,2.

Berdasarkan tabel 4.10, pengurangan jumlah lapisan pada rangka material T800, membuat ketebalan rangka menjadi lebih tipis yaitu 0,96 mm dari pada tebal rangka material AS4 dengan tebal total 1,12 mm. Dengan massa jenis yang sama 1800 Kg/m³ antara kedua jenis material, rangka sepeda material T800 mempunyai berat 640 gram, sedangkan rangka sepeda AS4 mempunyai berat 743 gram. Semua kombinasi serat mempunyai *interlaminar shear stress* yang jauh dibawah *shear strength* masing-masing *properties*, sehingga sangat aman.

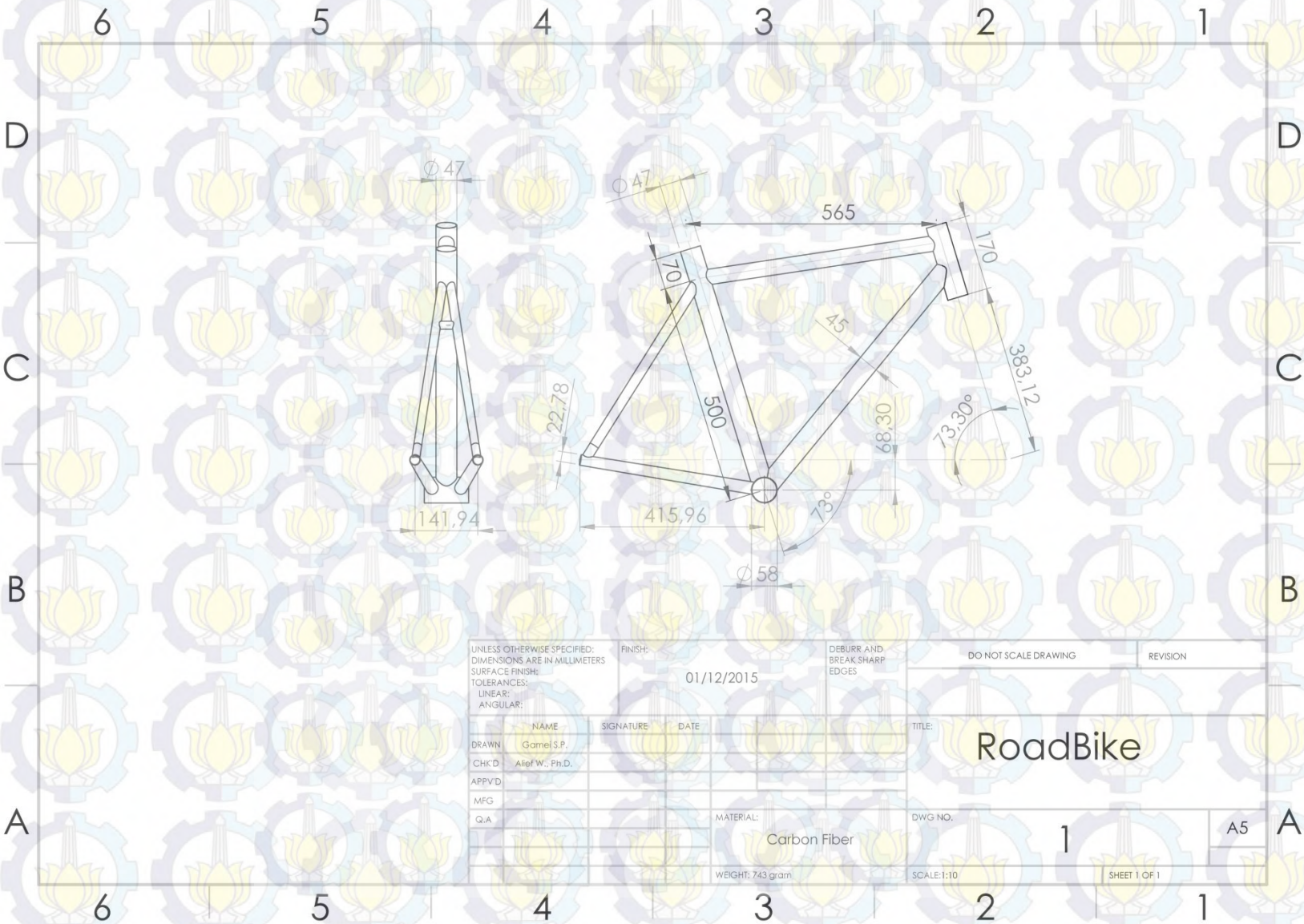
BAB V

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisa data yang dilakukan, desain terbaik pada rangka sepeda material AS4 dengan jumlah susunan lapisan delapan lapis adalah kombinasi arah serat $[0,90,90,0]_s$. Desain terbaik yang didapat sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yaitu $[0,90,90,0]_s$. Dengan demikian dapat meyakinkan peneliti untuk melakukan penelitian lebih lanjut pada rangka sepeda dengan material T800 dengan jumlah lapisan enam lapis menggunakan *software solidworks 2016*.
2. Desain terbaik pada rangka sepeda material T800 dengan jumlah susunan lapisan enam lapis adalah kombinasi arah serat $[0,45,-45]_s$. Faktor keamanan terkecil yaitu pada saat dilakukan pengujian torsional dengan rata-rata FOS 1,2.
3. Daerah kritis dari semua desain rangka sepeda jenis *road bike* dengan material *carbon fiber* terletak pada setiap bagian sambungan, sedangkan lapisan kritis terjadi pada susunan lapisan terluar dan lapisan terdalam.

Lampiran



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwyer, F., Shaw, A., Tombarelli, R., April 2012. “Material and Design Optimization for an Aluminum Bike Frame”. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.
- [2] Thomas Jin-Chee Liu dan Huang-Chieh Wub., 2009. “Fiber direction and stacking sequence design for bicycle frame made of carbon/epoxy composite laminate”. Taishan: Ming Chi University of Technology.
- [3] Z. Yuanxin, M. A. Baseer, H. Mahfuz, S. Jeelani, “Statistical analysis on the fatigue strength distribution of T700 carbon fiber”, Composites Science and Technology 66 (2006) 2100–2106
- [4] Gurit. “Guide To Composite”. www.Gurit.com
- [5] Austin. March 2010. “Cen Road Bike Frame Testing”. Engineering Materials Laboratory Lab. No. 1003-4, P.O No.: 1003.
- [6] MIL-HDBK-17-2F, May 2002. “Composite Material Handbook”. Department Of Defence United States Of America: USA.
- [7] http://nptel.ac.in/courses/101104010/lecture21/21_3.htm

BIOGRAFI PENULIS



Gamei Suyono Putra dilahirkan di Ngawi pada tanggal 3 Mei 1991. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Suyono dan Sri Nurbintari. Penulis memulai pendidikan formal di TK Dharma Wanita Dempel. Pendidikan dasar di SDN Dempel III, Geneng, Ngawi. Pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 2 Ngawi, dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 2 Ngawi. Setelah menyelesaikan jenjang pendidikan SMA, penulis menempuh program diploma di D3 Teknik Mesin UGM. Pada tahun 2012 setelah lulus D3 penulis meneruskan jenjang pendidikan S1 di ITS Surabaya jurusan teknik mesin.

Email: Gamei.suyono.p@gmail.com